

**CARACTERIZACIÓN GEOLOGICA DEL ÁREA DE RESERVA ESPECIAL (ARE) No.
20165510293662 EN LA VEREDA ANGOSTURA (DISTRITO MINERO DE
CALIFORNIA-VETAS, SANTANDER)**

NICOLAS ANDRÉS RUEDA SARMIENTO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2020

**CARACTERIZACIÓN GEOLOGICA DEL ÁREA DE RESERVA ESPECIAL (ARE) No.
20165510293662 EN LA VEREDA ANGOSTURA (DISTRITO MINERO DE
CALIFORNIA-VETAS, SANTANDER)**

NICOLÁS ANDRÉS RUEDA SARMIENTO

DIRECTOR:

Dr. WILLIAM MANTILLA ORDUZ

Doctor en Geoquímica

TUTOR:

GUSTAVO GERMAN CONTRERAS FERNÁNDEZ

Geólogo

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS

ESCUELA DE GEOLOGÍA

BUCARAMANGA

2020

DICATORIA

A mi familia que me lo han dado todo en esta vida, que con sus palabras han sabido apoyarme en los momentos más difíciles y me dieron las fuerzas necesarias para poder sacar adelante este primer paso en mi proyecto de vida y convertirme en Geólogo de la Universidad Industrial de Santander, de todo corazón los amo mucho y este triunfo también es de ustedes.

AGRADECIMIENTOS

A mis compañeros de carrera quienes de alguna u otra forma han hecho que este logro sea posible.

A mis amigos: Laura Arenas, Felipe Hernandez (Pepi), Juan Picott, Silvia Rodriguez, Andres Hernandez, Juan Bohorguez y Felipe Cruz, a todos ellos muchas gracias por su constante apoyo y compañía.

Al profesor William Mantilla Orduz por su gran labor de docencia y acompañamiento a lo largo de la realización de este proyecto.

A la empresa CORPOMINERA, en especial a Gustavo Contreras por permitirme realizar esta práctica, además de colaborar en el proceso de aprendizaje que para mi significó la misma.

Y a Dios, que en los momentos que más pensé en rendirme y desistir me supo dar la respuesta y el ánimo necesario para continuar hasta el final.

MUCHAS GRACIAS...

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
1. OBJETIVOS.....	15
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	15
2. MARCO TEORICO.....	16
2.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	16
2.2 CLIMA.....	17
2.3 HIDROGRAFÍA Y FISIOGRAFÍA	17
2.4 USO DEL SUELO E INFRAESTRUCTURA DEL ÁREA.....	19
2.5 DELIMITACIÓN DEL ÁREA	20
2.6 MARCO HISTORICO.....	22
2.7 OPERACIONES MINERAS EN EL ÁREA	23
2.8 GEOLOGÍA REGIONAL.....	26
2.8.1 Neis Migmatítico (pDbm).....	26
2.8.2 Granodiorita (TRtgd)	29
2.8.3 Alaskita (Jrcg).....	29
2.8.4 Pórfido (Trp)	30
2.8.5 Depósitos Cuaternarios (Qal-Qcl).....	31
2.9 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	32

2.10 MINERALIZACIÓN	34
3. METODOLOGÍA	37
3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA	38
3.2 TRABAJO DE CAMPO	38
3.3 INTERPRETACIÓN INICIAL DE INFORMACIÓN	40
3.4 ANALISIS INFORMACIÓN GEOQUIMICA.....	40
3.5 ELABORACIÓN DEL INFORME O LIBRO	41
4. RESULTADOS	43
4.1 GEOLOGÍA DE CAMPO.....	43
4.2 INTERPERISMO QUIMICO	46
4.3 UNIDADES LITOGEOQUIMICAS	50
4.4 ANOMALIAS MONOELEMENTALES	53
4.5 ANOMALIAS MULTIELEMENTALES	61
4.6 ALTERACIÓN HIDROTERMAL	65
4.7 MAGNETOMETRIA EN TERRENO.....	68
4.8 MODELO GEOLOGICO Y METALOGENICO.....	72
5. CONCLUSIONES	79
6. RECOMENDACIONES	81
7. BIBLIOGRAFIA.....	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del Área de Reserva Especial (Amarillo) en el Municipio de California, Santander. Tomado del Plan de Ordenamiento Territorial de California 2012 (Modificación Personal).	16
Figura 2: Red Hidrográfica del Río Suratá, Tomado de Plancha 110 IGAC (Modificación Personal)).	17
Figura 3: Fisiografía del Área de Reserva Especial, Zona de Estudio.	18
Figura 4: Zonas de huertos en el área de estudio.	19
Figura 5: Infraestructura eléctrica de los predios pertenecientes al área de estudio.	19
Figura 6: Alínderación del área de estudio.	20
Figura 7: Evidencia de la actividad minera histórica en el Municipio de California, Santander.	23
Figura 8: Actividad minera actual en el área.	25
Figura 9: Geología Regional.	32
Figura 10: Aguas acidas de origen geogénico con presencia de geles de hierro y aluminio. Evidencia de la descomposición natural de sulfuros dentro del área de estudio.	36
Figura 11: Minas presentes en el área de estudio.	39
Figura 12: Equipo usado para la toma de datos de Magnetometría (KT-10).	39
Figura 13: Grilla de Muestreo Geoquímico.	42
Figura 14: Mapa Estructural General realizado mediante observaciones en el Trabajo de Campo.	44
Figura 15: Veta de Cuarzo presente en diferentes frentes de mina.	45
Figura 16: Zona de intenso intemperismo dentro del área de estudio.	46

Figura 17: Mapa de índices de alteración química (CIA).	48
Figura 18: Estadística descriptiva para el índice de alteración química (CIA) y Box-Plot. ...	49
Figura 19: Diagrama de álcali-sílice total (TAS).	51
Figura 20: Mapa geoquímico de la relación TiO_2/Zr	52
Figura 21: Mapa geoquímico de la relación Sc/Al_2O_3	53
Figura 22: Curvas acumulativas para el grupo de 16 elementos.	55
Figura 23: Curvas de Análisis de Anisotropía Geométrica para los elementos Ag (izq.) y el In (der.)	56
Figura 24: Mapa Geoquímico de la Concentración de Au. Anomalías de oro sin normalizar en Al_2O_3	57
Figura 25: Mapa Geoquímico de la Relación Au normalizado a Al_2O_3	58
Figura 26: Mapa Geoquímico de la Concentración de Ag. Anomalías de oro sin normalizar en Al_2O_3	59
Figura 27: Mapa Geoquímico de la Relación Ag normalizado a Al_2O_3	60
Figura 28: Mapa geoquímico de anomalías multielementales.	63
Figura 29: Análisis de componentes.	64
Figura 30: Matriz de correlación para elementos objetivo y elementos guía (pathfinder).	65
Figura 31: Sumas ponderadas calculadas para elementos alcalinos y sílice con factores de importancia relativa de $2SiO_2: 1K_2O: 1Rb: 1Cs$	67
Figura 32: Mapa puntos de mediciones de susceptibilidad en el área y la ubicación de ocurrencia de cuerpos con sulfuros auro-argentíferos.	69

Figura 33: Mapa a partir de mediciones de susceptibilidad en el área y la ubicación de ocurrencia de cuerpos con sulfuros auro-argentíferos. Anomalía total del campo magnético (fuentes profundas).	70
Figura 34: Mapa litogeoquímico.	76
Figura 35: Planos topográficos de las diferentes Bocaminas existentes en el Proyecto, año 2017.	82
Figura 36: Ubicación de las Bocaminas respecto al área existentes en el momento de la realización de los planos topográficos.	83

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa Geológico 95

Anexo 2. Resultados de Análisis de Ensayo al Fuego 90

RESUMEN

TITULO

CARACTERIZACIÓN GEOLOGICA DEL AREA DE RESERVA ESPECIAL (ARE) No. 20165510293662 EN LA VEREDA ANGOSTURA (DISTRITO MINERO DE CALIFORNIA-VETAS, SANTANDER)

AUTOR¹

Nicolás Andrés Rueda Sarmiento

Descripción:

Palabras Claves: Brecha hidrotermal, exploración mineral, stockwork, magnetometría, geoquímica.

El municipio de California, ubicado en el Departamento de Santander se ha caracterizado históricamente por la actividad minera que se desarrolla allí desde la época de la Colonia Española; esta actividad durante casi toda la historia ha estado a cargo de las familias que habitan las diferentes veredas del Municipio, quienes de manera empírica han transmitido el conocimiento sobre la explotación de oro de generación a generación. En la actualidad, un grupo de mineros artesanales agrupados en la Asociación de Mineros Artesanales de California (ARTEMINEROS), buscan desarrollar un proyecto minero en la Vereda Angostura (Proyecto Aposentos). Esta zona, presenta mineralización perteneciente a un sistema Magmático-hidrotermal, de tipo halógeno, donde las diferentes estructuras brechadas han sido rellenas por soluciones mineralizantes, además de favorecer la circulación y deposición de la mineralización.

En busca de tecnificar el conocimiento acerca del proyecto minero a desarrollar, se realiza este estudio donde se mostrará la geología que presenta el área, litología, geología estructural básica, caracterización composicional de las rocas, cartografía de la zona, estudio de la mineralización que presenta y en base a esto, dar de manera general un primer diagnóstico acerca de la viabilidad del proyecto.

Todo esto se realizó mediante una exploración en trabajo de campo, la caracterización mineralógica y composicional (Fases minerales también) se basó en un análisis de laboratorio por el método de Ensayo al Fuego, ICP-OES y complementada con un estudio de Magnetometría realizado en Campo.

¹ Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Geología, Geólogo Dr. William Mantilla Orduz, Director de Proyecto. Geólogo Gustavo German Contreras Fernández, Tutor de la Práctica.

ABSTRACT

TITLE

GEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE SPECIAL RESERVE AREA (ARE) No. 20165510293662 IN ANGOSTURA (CALIFORNIA-VETAS MINING DISTRICT, SANTANDER)

AUTHOR²

Nicolás Andrés Rueda Sarmiento

Description:

Key Words: Hydrothermal breccia, mineral exploration, stockwork, magnetometry, geochemistry.

The municipality of California, located in the Department of Santander, has historically been characterized by the mining activity that has developed there since the time of the Spanish Colony; For almost all of history, this activity has been carried out by the families that inhabit the different paths of the Municipality, who have empirically transmitted knowledge about the exploitation of gold from generation to generation. Currently, a group of artisanal miners grouped in the California Association of Artisanal Miners (ARTEMINEROS), are seeking to develop a mining project in Vereda Angostura (Aposentos Project). This area has mineralization belonging to a Magmatic-hydrothermal system, of the halogen type, where the different brecciated structures have been filled with mineralizing solutions, in addition to favoring the circulation and deposition of mineralization.

In search of technifying knowledge about the mining project to be developed, this study is carried out where the geology presented by the area, lithology, structural geology, compositional characterization of the rocks, cartography of the area, study of the mineralization presented and will be shown. Based on this, give a general diagnosis on the viability of the project.

All this was carried out by means of an exploration in field work, the mineralogical and compositional characterization (Mineral phases also) was based on a laboratory analysis by the Fire Test method and complemented with a Magnetometry study carried out in the Field.

² Faculty of Physicochemical Engineering, Geology School, Geologist Dr. William Mantilla Orduz, Project Director. Geologist Gustavo German Contreras Fernández, Advisor.

INTRODUCCIÓN

La exploración y explotación de recursos minerales ha sido una de las labores que se ha realizado hace muchos siglos, desde la época de los indígenas, pasando por la Colonia, donde utilizando factores como el clima, el suelo, los ríos y quebradas, eran capaces de encontrar recursos minerales de manera rudimentaria; hasta llegar a la actualidad, donde el afán de ubicar los diferentes minerales ha logrado favorecer el desarrollo y avance del conocimiento científico en diferentes lugares del mundo. Un ejemplo de esto es la explotación de Oro y Plata en el Distrito Minero de Vetas-California en el Departamento de Santander, donde según la Reseña que se encuentra en la Biblioteca Virtual del Banco de la República, esta actividad viene desarrollándose desde aproximadamente el año 1550, con el descubrimiento de las vetas de oro y plata en esta zona.

En el área de California, con el avance del Distrito Minero, se han desarrollado desde mitad del siglo pasado, diferentes estudios realizados por diferentes entidades, como lo son las diferentes empresas privadas interesadas en desarrollar proyectos en la zona y los diferentes estudios realizados para INGEOMINAS, que han logrado recopilar una gran cantidad de información técnica y científica, aunque mucha de esta información es parcializada y enfocada a cada proyecto a realizar, permiten tener un amplio conocimiento sobre las características del Yacimiento.

La importancia de desarrollar estos estudios radica en que un entendimiento correcto de las características que presenta un determinado yacimiento: Geomorfología, litología, geología estructural, entre otras, permiten reconocer las diferencias en las mineralizaciones que se pueden presentar en un depósito.

Para el caso de este trabajo, se utilizará la información que se ha obtenido de los diversos estudios anteriores, que clasifican a este yacimiento como uno de tipo hidrotermal y de alta sulfuración, los

diferentes modelos de este tipo de yacimiento como lo son los modelos de Giggenbach y Sillitoe, con el fin de junto a la información obtenida en campo, dar una caracterización de la geología correspondiente al ARE de estudio, cuyos titulares han querido aumentar el conocimiento técnico del yacimiento, además de que esta información es necesaria para seguir con el trámite ante la Agencia Nacional de Minería (ANM).

La mineralización de toda esta zona es controlada por la zona de falla que se presenta a lo largo de la Quebrada La Baja, similar a la que posee la Quebrada San Juan, que atraviesa el área de estudio, esto se evidencia en la dirección predominante de las fracturas y rellenos que se presentan en el área, pues concuerda con la dirección de la Quebrada.

Cabe resaltar que este no es un estudio geológico final, pues el nivel de conocimiento que requiere la ANM para este tipo de Legalización de Minería Artesanal (que es el fin con el cuál fue contratada la empresa) no es muy profunda, además de que solo se pretende dar una idea inicial para la planeación del Proyecto Minero, que llegado el caso se llegue a presentar, se podrá realizar una segunda campaña, para complementar y dar mayor profundidad a la información recolectada en este informe.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio geológico minero básico del Área de Reserva Especial No. 20165510293662, en la Vereda Angostura perteneciente al Municipio de California, Santander, como aporte al conocimiento del Distrito Minero de Vetas-California con el fin de poder ser utilizado para la planeación y ajuste del Proyecto Minero.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar una descripción de las unidades litogeoquímicas presentes en el área de estudio, identificando de manera general sus características mediante toma de muestras y sedimentos activos.
- Realizar estudios geoquímicos del muestreo realizado (Ensayo al fuego en laboratorio) que permitan determinar los contenidos minerales y analizar aquellas anomalías encontradas.
- Realizar estudios geofísicos (Magnetometría), que permita ampliar la información que se pueda obtener sobre la mineralización presente.
- Identificar las diferentes estructuras (Fallas, pliegues, diaclasas), que se encuentran en el área y su posible relación con la mineralización.
- Realizar una cartografía de la zona de estudio, donde se presente la información obtenida en el Proyecto.
- Analizar los resultados obtenidos, de manera que se pueda realizar un aporte al Proyecto Minero en cuanto a la exploración y explotación del Recurso Mineral.

2.2 CLIMA

En el municipio de California generalmente presenta un clima templado semihúmedo, cuya temperatura promedio es de 17°C, la cual puede variar de entre 13°C y los 20°C, sin embargo, en las zonas altas del municipio esta temperatura puede descender a bajo cero en las noches. Existen dos periodos de lluvia: Marzo a Mayo y Octubre a Noviembre. La precipitación anual media oscila entre 350 mm y 3000 mm. Específicamente en el área de estudio, la vegetación está compuesta por zona boscosa secundaria sabanizada donde la precipitación anual media varía entre 1000-1500 mm.

2.3 HIDROGRAFÍA Y FISIOGRAFÍA

La red hidrográfica del municipio de California pertenece a la Cuenca del Río Lebrija, que a su vez pertenece a la subcuenca del Río Suratá y microcuenca del Río Vetás; cuyos principales drenajes son: la Quebrada La Baja, Quebrada La Laguna, Quebrada El Indio, Quebrada Mata Perros, Quebrada La Venta y Quebrada Chumbula.

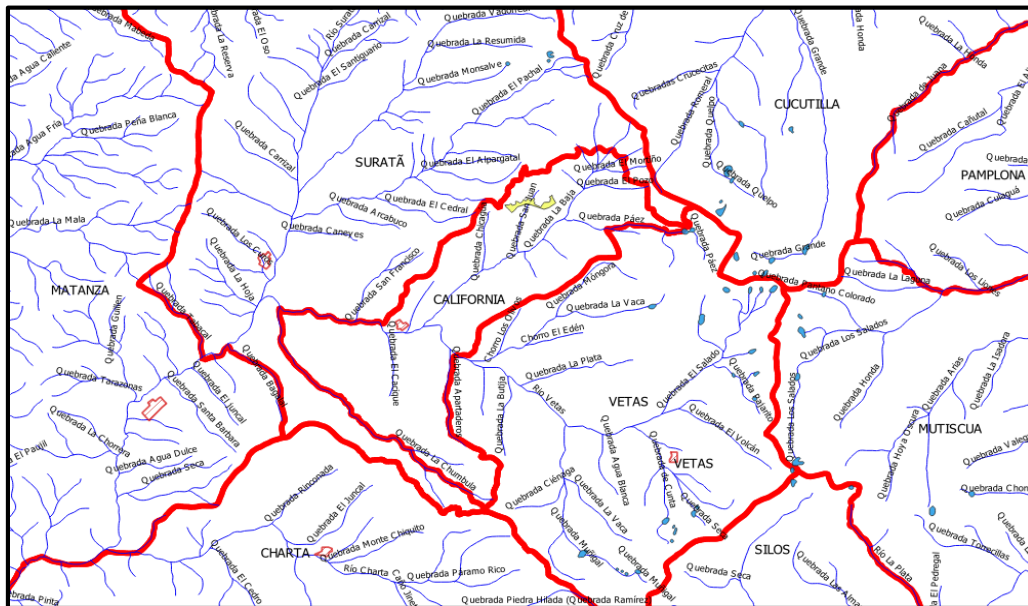


Figura 2: Red Hidrográfica del Río Suratá, Tomado de Plancha 110 IGAC (Modificación Personal).

En la Vereda Angosturas, de la intersección de la Quebrada del mismo nombre y la Quebrada Páez nace la Quebrada La Baja, que tiene de recorrido aproximadamente 5.5 Kms. Como sus tributarios principales se encuentran las Quebradas Santa Catalina, San Antonio, La Higuera, Agua Limpia, Aserradero, Las Animas entre otras, de las cuales se obtiene el agua para abastecer los acueductos de los diferentes poblados.

La Quebrada La Baja tiene una dirección aproximada S-50°-W, hasta su encuentro con el Río Vetas y presenta un caudal promedio de 0.7 y 1.8 m³/seg. La Quebrada Angosturas nace en el Páramo de Monsalve y sigue una dirección S-20°-W. La Quebrada Páez, tiene su nacimiento en el Páramo de Romeral, más específicamente en la Laguna de Páez y tiene una dirección aproximada de N-90°-W.

El área de estudio se encuentra en una de las estribaciones de la Cordillera Oriental, en el sistema Andino Colombiano, con una topografía variada entre quebrada con pendientes inclinadas y escarpadas hasta ondulada. Ver figura 3



Figura 3: Fisiografía del Área de Reserva Especial, Zona de Estudio.

2.4 USO DEL SUELO E INFRAESTRUCTURA DEL ÁREA

En el área se realizan actividades de ganadería tanto del tipo caprino como bovino, con presencia de potreros en buen estado y huertas caseras que proveen medianamente de verduras y frutas de pan coger a sus habitantes.

La zona rural donde se ubica el proyecto presenta cobertura deficiente de los servicios públicos, pues solo el servicio de electricidad se encuentra garantizado en todos los predios. El servicio de agua potable se obtiene de captaciones que los propietarios de los predios de las Quebradas cercanas.



Figura 4: Zonas de huertos en el área de estudio.



Figura 5: Infraestructura eléctrica de los predios pertenecientes al área de estudio.

En cuanto al servicio de internet y comunicación, la primera depende exclusivamente de conexión por datos móviles y debido a la baja cobertura que se tiene en el área por parte de los operadores móviles, solo se puede acceder a estos servicios en determinadas zonas del área. Servicio de televisión se obtiene por medio de antenas instaladas en cada hogar.

2.5 DELIMITACIÓN DEL ÁREA

Se realizó la delimitación de área, que consta de 34.7 Hectáreas y cuya alinderación y coordenadas se presentan a continuación:

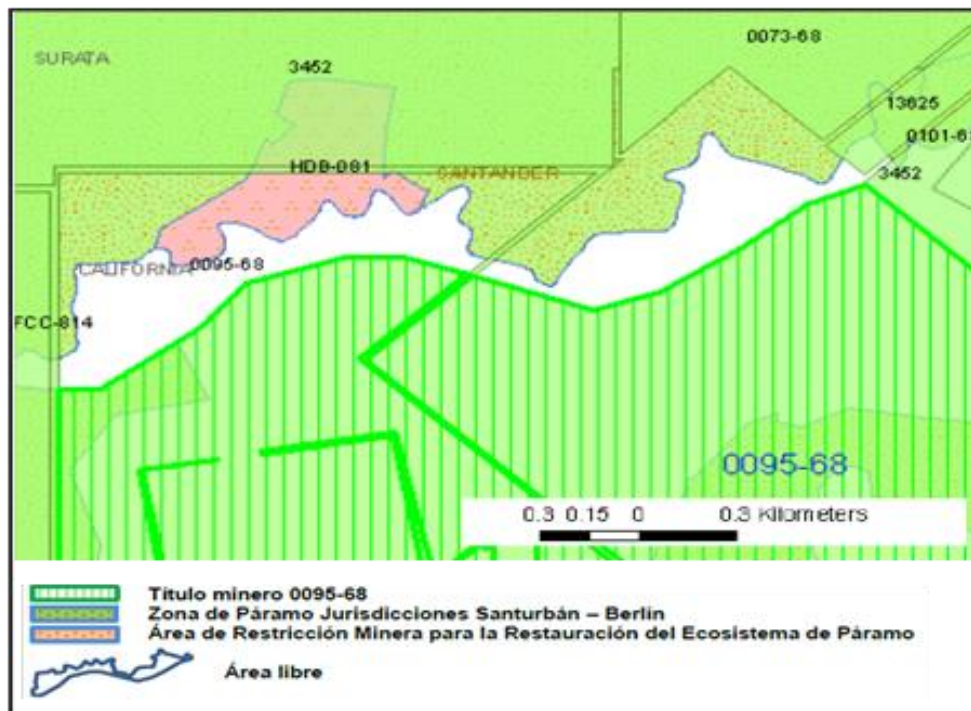


Figura 6: Alinderación del área de estudio.
Tomado de Catastro Minero Colombiano (CMC)-Agencia Nacional de Minería

PUNTO	COORDENADA NORTE	COORDENADA ESTE
1	1308417	1128211
2	1308417	1128212
3	1308417	1128213
4	1308417	1128214
5	1308420	1128336
6	1308426	1128349
7	1308459	1128387
8	1308458	1128414
9	1308447	1128424
10	1308422	1128423
11	1308412	1128429
12	1308410	1128447
13	1308434	1128527
14	1308448	1128547
15	1308469	1128555
16	1308490	1128554
17	1308521	1128540
18	1308531	1128539
19	1308538	1128548
20	1308537	1128579
21	1308531	1128602
22	1308485	1128679
23	1308483	1128692
24	1308500	1128719
25	1308550	1128764
26	1308575	1128777
27	1308598	1128784
28	1308603	1128797
29	1308597	1128809
30	1308572	1128822
31	1308557	1128849
32	1308557	1128867
33	1308563	1128879
34	1308579	1128889
35	1308621	1128900
36	1308635	1128910
37	1308633	1128924
38	1308579	1128974
39	1308563	1128984
40	1308567	1129000
41	1308643	1129095
42	1308649	1129114
43	1308645	1129121
44	1308613	1129128
45	1308558	1129103

PUNTO	COORDENADA NORTE	COORDENADA ESTE
46	1308544	1129106
47	1308519	1129130
48	1308500	1129134
49	1308469	1129125
50	1308454	1129126
51	1308444	1129133
52	1308393	1129227
53	1308370	1129285
54	1308350	1129314
55	1308351	1129324
56	1308358	1129332
57	1308424	1129369
58	1308461	1129395
59	1308486	1129407
60	1308500	1129421
61	1308506	1129439
62	1308513	1129585
63	1308533	1129610
64	1308641	1129631
65	1308657	1129625
66	1308673	1129586
67	1308681	1129588
68	1308691	1129600
69	1308710	1129647
70	1308729	1129664
71	1308752	1129669
72	1308743	1129671
73	1308674	1129691
74	1308595	1129732
75	1308513	1129779
76	1308482	1129790
77	1308465	1129769
78	1308331	1129581
79	1308278	1129424
80	1308438	1128975
81	1308437	1128841
82	1308359	1128604
83	1308225	1128497
84	1308169	1128424
85	1308187	1128409
86	1308221	1128385
87	1308260	1128346
88	1308308	1128293
89	1308366	1128243

Tabla 1: Coordenadas alinderación Área de Estudio.

2.6 MARCO HISTORICO

El municipio de California fue fundado en 1843 con razón a la presencia de oro en la zona y la explotación de este siempre ha estado asociada a su historia y a su tradición. La minería es la base de la economía de la población, hace parte de su cultura. El paisaje que se encuentra allí hace muy complicada la realización de otras actividades económicas que permitan subsistir a sus habitantes.

La explotación de oro en esta zona se ha realizado desde tiempos precolombinos, donde diversos estudios realizados datan el descubrimiento de este recurso aproximadamente en 1550, con la fundación del municipio de Pamplona. Durante la época de la colonia este distrito minero fue un importante productor de este recurso, actividad realizada por indígenas pertenecientes a los diferentes encomenderos de Pamplona y Tunja que se establecieron en cercanías de los principales cursos de agua (Quebrada La Baja, Angosturas, La Herrera, entre otros); la actividad en su mayoría se basó en el uso desmedido de mano de obra indígena traída de otros sectores, cuyas pobres condiciones de vida fueron plasmadas a mediados de siglo XIX por Manuel Ancizar en su “Descripción del Cantón de Bucaramanga”; provocando un desarraigo culturas importante para estas culturas indígenas.

En los siglos XIX y XX, empezaron a llegar a la región diferentes empresas extranjeras, como lo fue la compañía inglesa que ya para el año 1830 realizaba trabajos de explotación en el área, trayendo maquinaria importada, incorporando más trabajadores y construyendo mejores viviendas para los mismos, lo que provocó un auge económico para las poblaciones aledañas. Entre 1904-1906 se tiene a la compañía Francia Gold and Silver Ltd Company, quienes se establecieron en el sector de Llano Redondo, donde aún se pueden observar evidencia de la actividad minera que se realizaba allí, esta compañía realizó trabajos de explotación hasta mediados de 1914 cuando entró en quiebra (Pérez, 2004).

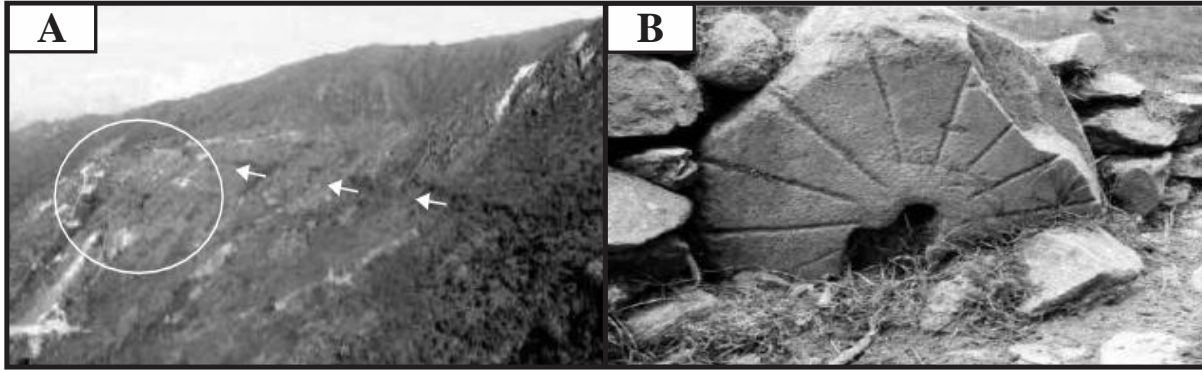


Figura 7: Evidencia de la actividad minera histórica en el Municipio de California, Santander.
Tomado de: (Pérez, 2004)

La fotografía A muestra el sector donde se ubicaba el real minero de La Montuosa Alta; la fotografía B muestra una piedra perteneciente a un molino antiguo utilizado en las labores.

En el siglo XXI, diferentes compañías tales como: CB Gold, EcoOro antes conocida como GreyStar, Galway, la AUX (Antiguamente llamada Ventana Gold), han desarrollado la actividad minera en el municipio, contando con los permisos otorgados por la Autoridad Minera (Agencia Nacional de Minería). En la actualidad MINESA, está a la espera del permiso para iniciar su proyecto a gran escala en la zona, pero este se encuentra en debate a razón del impacto ambiental que el proyecto pueda tener en el ecosistema de Páramo presente en el municipio, por lo que la compañía está realizando explotaciones pequeñas hasta obtener el permiso.

2.7 OPERACIONES MINERAS EN EL ÁREA

En el área se pueden ubicar dos pequeños túneles, en los cuales desde hace unos meses las actividades se encuentran paralizadas, durante el periodo de levantamiento de campo ya estaban fuera de operación por pérdida de la traza de la mineralización; en este caso las vetas o venas de vergencia NNW. Los trabajos fueron desarrollados de manera continua y con herramientas rudimentarias, sin conocimiento técnico de la geología, y geotecnia. La dirección de avance está dada por la variación o cambios en la mineralización, componentes del filón y la aparición de cruceros y/o agujas. Sin embargo, la aparición de las multinacionales ha provocado el interés y la

necesidad de los mineros tradicionales de tecnificar su labor, de manera que la misma sea más rentable y mejore la calidad de vida de los trabajadores y sus familias. Uno de los avances más importantes es que, por iniciativa de ellos mismos decidieron eliminar el uso del mercurio para el beneficio, pero por motivos económicos y la dificultad para conseguir mejores tecnologías, se utiliza el cianuro y el molino de bolas.

También se puede encontrar un túnel en construcción ubicado en las coordenadas N: 1308419 E: 1128792, con rumbo N75W, con una longitud de aproximadamente 30m, no se ha logrado un mayor avance debido a la dificultad del trabajo manual, de conseguir explosivos, además de que cuando “la aguja” se pierde (así se le denomina a las vetas de cuarzo asociados con sulfuros), deben abandonar las labores para trabajar en otras minas y conseguir el sustento. El minero ante fallas geológicas se ve perdido, literalmente hablando.

La labor de beneficio se realiza a las afueras de las viviendas de los mineros, llevando solo el material proveniente de las agujas, el material restante se dispone cerca al túnel, de manera que no se generen deslizamientos y retiro de las corrientes de agua para no provocar la contaminación de estas.

El proceso realizado para obtener el recurso mineral se explica a continuación:

Arranque: Esta labor se realiza de manera manual, utilizando pico y martillo neumático.

Cargue y transporte: Esta parte del proceso se realiza con el uso de palas y carretas, si la distancia a transportar es considerable se transporta a lomo de mula el material.

Trituración: Este proceso se realiza en 2 etapas:

Primero se desarrolla de forma manual utilizando un mazo, cuando el material que se obtiene de la mina es más grueso que la trituradora.

Posteriormente el material que ya es reducido es llevado a una trituradora estacionaria de mandíbula, para después ser llevado a la tolva que alimenta el molino.

Molienda: Este proceso se realiza a través de un molino de bolas que corresponde a un cilindro que contiene bolas de acero cuya función es moler la carga por impacto, presión, atrición y abrasión, una parte del oro se aglomera y se deposita en el molino, por lo que este material debe ser recuperado también cada cierto tiempo.

Desludado: Las colas resultantes del proceso anterior, son sometidas a un desludado antes de pasar a la cianuración. Este proceso se realiza en tanques de aproximadamente 30 m³, donde los sólidos suelen ser lavados para eliminar el ácido que se hubiera podido formar, se mezclan con cal y se depositan en el tanque, donde se encuentra circulando la solución de cianuro de sodio. El oro pasa a hacer parte de la solución como complejo diciano y posteriormente se recupera sobre virutas de zinc por cementación.

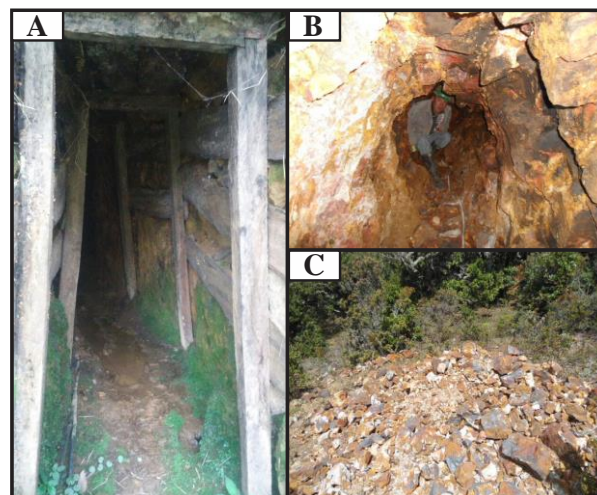


Figura 8: Actividad minera actual en el área.
Las fotografías A y B muestran la entrada y el túnel en su interior,
la fotografía C muestra la disposición del material estéril.

2.8 GEOLOGÍA REGIONAL

En el área se presentan rocas metamórficas Precámbricas y Pre-Devónicas, rocas intrusivas pertenecientes al Triásico-Jurásico y otras del mismo tipo pertenecientes al Terciario, además de Depósitos Cuaternarios tanto de aluvión como de coluvión, todas estas rocas pertenecientes al Macizo de Santander. En cuanto a las rocas ígneas, Ward et al., 1973 indica que una gran cantidad de batolitos y plutones del Macizo de Santander corresponden a rocas ígneas no foliadas, de composición monzogranítica y granodiorítica, además de la existencia de un cuerpo ígneo intruyendo la Formación Silgará, estas rocas él las agrupa bajo el nombre de Grupo Plutónico de Santander; Royero y Clavijo (2001) plantean el uso del término Complejo de Bucaramanga para hacer referencia al conjunto de rocas ígneas y metamórficas de la región, debido a la variación de las características y la compleja evolución del área.

2.8.1 Neis Migmatítico (pDbm)

Las rocas más antiguas del Macizo de Santander corresponden a rocas metamórficas de estructura neísica a las que Ward et al (1973) denomina Neis de Bucaramanga y define como rocas de alto grado metamórfico, compuestos principalmente de paragneis pelítico, semi pelítico, y arenáceo; presencia de esquistos y neis calcáreo, mármol, neis hornbléndico y anfibolita. También existen algunas zonas de migmatita, la cual se presenta de dos tipos: La primera, donde el paragneis se encuentra mezclado con rocas graníticas neísica y la segunda, donde ambos se encuentran cortados por masas más pequeñas de granitos mucho más jóvenes.

En el mismo trabajo, los autores separan el Neis de Bucaramanga en tres franjas, la primera se encuentra al este de la Falla de Bucaramanga, la tercera se ubica aldaño a Chitagá y al sur de Pamplona, cerca del borde este de la plancha H-13 y la segunda donde se encuentra el área de estudio se extiende por el área de Berlín y California-Cachirí hasta llegar al oeste de Mutiscua,

pasando por Morro Nevado. Goldsmith et al., (1973) expone el neis de Bucaramanga como el núcleo del Macizo de Santander, identificándolo como una secuencia de wacas, shales y rocas volcánicas metamorfoseadas de alto grado y migmatitas, además de datarlas como rocas Pre-Devónicas. Otra descripción de estas rocas la dan Carvajal y Rodríguez (1975), quienes caracterizan este neis por tener una estructura foliada, de composición cuarzo, biotita y plagioclasa, de tamaño de grano grueso; ellos en su investigación observaron el desarrollo de textura augen, para explicarlo propusieron un evento en donde los porfiroblastos de feldespatos son sometidos a un metasomatismo alcalino, provocado por la cercanía del neis al cuerpo tonalítico.

Mendoza y Jaramillo (1979) utilizan el término migmatita para referirse a las rocas metamórficas neisicas del área, aclarando que este término lo utilizan de una forma más descriptiva que refiriéndose a la génesis como tal. Identifican dos tipos: La primera es una migmatita paleozoica, cuya estructura neisica la definen la orientación de las láminas de hornblenda-biotita entre las bandas irregulares de cuarzo y feldespatos; además poseen una textura granoblástica o xenoblástica. También contienen neises bandeados de apariencia cataclástica en los que se alternan bandas ricas con alta cantidad de biotita y menor cantidad de cuarzo y plagioclasa con bandas graníticas compuestas de plagioclasa, biotita, cuarzo y ortoclasa de 1 a 4 cms; además resaltan la presencia local de silimanita y plagioclasa parcialmente sericitizadas.

El segundo tipo de migmatita pertenece al mesozoico y se desarrolla rodeando a las intrusiones Jura-Triásicas del área. Allí, abundante material granítico se presenta como neis de inyección y al final cristaliza en forma de bandas concordantes y foliadas; este grupo de rocas tienen una composición cuarzodiorítica-cuarzomonzonítica y localmente muestran evidencia de alteración hidrotermal. Estas rocas presentan textura hipidiomorfa granular y presenta orientación de las láminas anhedrales de biotita, sericitización de la plagioclasa y una ligera argilización del

feldespato potásico. Mendoza y Jaramillo (1979), incluyen al Neis de Bucaramanga dentro de la facies cordierita anfibolita, del tipo Abukuma, basándose en la presencia de andalusita, silimanita, cordierita, la poca cantidad de granate que se puede encontrar y la ausencia de distena.

Perez y Vargas (2003) describen el neis con una textura schlieren, que aflora en afluentes de la Quebrada La Baja, donde se ven pliegues producto de la deformación en rocas de composición granítica y neisica, con una composición de 20% cuarzo, 35% plagioclasa, 5% feldespato potásico, 25% hornblenda, silimanita 15% y biotita 15%, y circón, apatito y epidota como minerales accesorios. En el mismo trabajo, Pérez y Vargas correlacionan este neis migmatítico con el neis de biotita, feldespato potásico, cuarzo y hornblenda caracterizado por Ward et al., (1973) de la franja central del Neis de Bucaramanga.

Royero y Clavijo (2001) describe esta unidad como una secuencia de paraneises cuarzofeldespáticos, hornblendicos, micáceos y granatíferos, con cantidades de anfibolitas, migmatitas, cuarcitas y mármoles, que ha sido intruida por plutones félsicos del Paleozoico y Jurásico (Ward et al., (1973) en Royero y Clavijo (2001)), además recomienda el uso del término Complejo de Bucaramanga para la literatura de esta región debido a la variedad de las características geológicas.

Mantilla et al., (2009) menciona que este grupo de rocas alcanzaron condiciones metamórficas de facies anfibolitas, todo esto durante la Orogenia Greenvilliana; similar a lo mencionado anteriormente propuesto por Mendoza y Jaramillo (1979), Greiget et al., (2009) comparte esto y propone que el Neis de Bucaramanga fue afectado por varios eventos de deformación y metamorfismo de facies esquistos verdes a anfibolita.

2.8.2 Granodiorita (TRtgd)

Ward et al (1973), caracteriza esta unidad como una roca de grano grueso (inequigranular) gris y no foliada, con presencia común de inclusiones oscuras de grano fino (autolitos); en el área, esta roca se encuentra cortada por cuarzomonzonita, aplita y pórfido cuarzoso. La granodiorita se encuentra compuesta mineralógicamente por cuarzo, andesina, hornblenda, biotita y feldespato potásico, como minerales accesorios observaron esfeno, apatito y óxido de hierro. Producto de alteraciones también se pueden observar clorita y epidota.

Mendoza y Jaramillo (1979) también la caracterizan de un aspecto masivo a ligeramente neisico, de grano medio por lo general holocristalina, con presencia de cuarzo, plagioclasa, biotita y hornblenda. En algunas ocasiones se puede encontrar la roca mineralizada con sulfuros de especial pirita, la cual se observa en venas de cuarzo y epidota, relacionada con los ferromagnesianos o simplemente disseminados.

La composición porcentual de la roca es de 35% cuarzo, 26% plagioclasa, 20% biotita, 10% feldespato potásico, 8% minerales opacos; también se tienen como minerales accesorios circón, epidota y secundarios sericita, caolinita y clorita, la granodiorita aflora en las partes altas hacia el suroeste de la zona de estudio, a lo largo de los afluentes de la Quebrada La Baja.

2.8.3 Alaskita (Jrcg)

Corresponden a rocas ígneas leucocráticas de grano fino a medio y de composición granito-cuarzomonzonita, de color blanco y algo moteado producto de los óxidos de hierro, compuesta principalmente por plagioclasa, feldespato potásico, cuarzo, moscovita y biotita (Mendoza y Jaramillo, 1979). El uso del término Alaskita proviene del mismo término mencionado por Paterson (1971), debido al predominio de rocas leucocráticas. En el mismo trabajo los autores

caracterizan esta roca en el área de California por presentar alteración hidrotermal, principalmente silicificación y piritización, además, se encuentra cruzada por numerosas venillas de cuarzo.

Según Pinto (1997), esta roca aflora en los afluentes de la Quebrada La Baja: las quebradas Páez, La Perezosa y Las Animas. En esta última, la Alaskita aflora con enriquecimiento de cuarzo y pirita, mientras que hacia los contactos con la roca metamórfica se enriquece con biotita, presenta alteración de silicificación, sericitación, caolinitización y piritización.

Goldsmith et al (1971) estima que la Alaskita pertenece al Triásico-Jurásico y tiene edades aproximadas de 172 ± 6 y 193 ± 7 m.a.

2.8.4 Pórfido (Trp)

Ward et al., (1973) menciona que el pórfido que se encuentra en el área es un pórfido dacítico de color gris, de grano fino, con fenocristales euhedrales de plagioclasa y escasos fenocristales de cuarzo y anfíbol.

Para Mendoza y Jaramillo (1979), el pórfido es de composición dacita-andesita, además resalta la presencia de un pórfido de composición granodiorítica que aflora a lo largo de la Quebrada La Baja. Este último pórfido lo describen como un pórfido con fenocristales de feldespato y cristales más pequeños de hornblenda y biotita presentes en una matriz fina de color gris, esta matriz está compuesto de cuarzo y feldespato con ligera alteración a sericita. Los contactos entre las diferentes rocas y estos cuerpos de pórfidos se presentan de forma arbitraria.

Mantilla et al., (2009), describe el pórfido dacítico con una muestra tomada en uno de los afluentes de la Quebrada La Baja, la cual se caracteriza por presentar color rosado, textura porfirítico-afanítica en donde se pueden observar fenocristales de cuarzo bipiramidal, plagioclasa, feldespato potásico y poca cantidad de biotita. En las zonas donde el pórfido inyecta a la

cuarzomonzonita presenta un color blanco debido a la alteración, pero igualmente fácil de reconocer gracias a los cuarzos bipiramidales.

Diferentes autores han propuesto edades para este pórfido, inicialmente se presentaba este cuerpo con una edad post-cretácica pues se encuentra intruyendo rocas del cretáceo (Ward et al., 1973) y los granitos del Triásico-Jurásico (Mendoza y Jaramillo, 1979), pero estudios mas recientes como el de Mantilla et al., (2009) basados en dataciones U-Pb, ubican a estas rocas en una edad 8.4 ± 0.2 y 9 ± 0.2 M.a.

2.8.5 Depósitos Cuaternarios (Qal-Qcl)

Los depósitos presentes en el área de California son de tipo terrazas y coluvial, donde estos aluviones y bancos de grava gruesa son auríferos y se pueden encontrar explotaciones rudimentarias en placeres (Mendoza y Jaramillo, (1979) en Contreras (2010)).

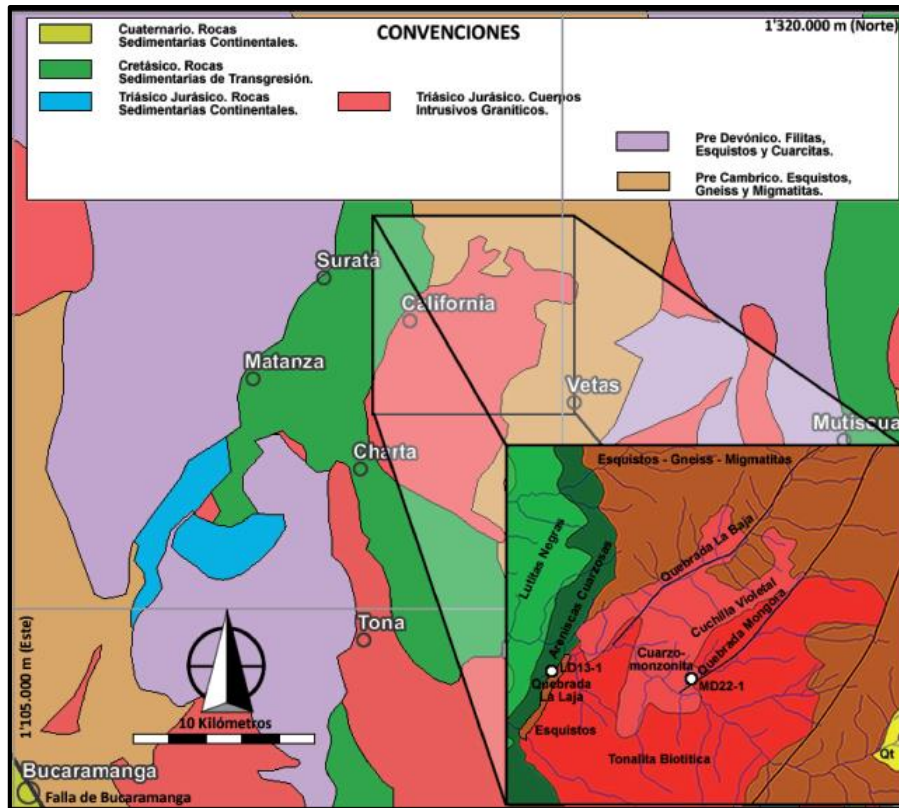


Figura 9: Geología Regional.
Tomado de: Mantilla et al., (2009)

2.9 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En el área del distrito minero de Vetas-California, las fallas que se presentan tienen una tendencia N-NE. La falla principal es la falla de Cucutilla, cuyo ramal principal se dirige al suroeste a lo largo de la Quebrada Romeral, para cruzar el río Vetas y Páramo Rico, donde intersecta la falla de Charta (Ward et al., 1973)

La existencia de una falla a lo largo de la Quebrada La Baja (conocida como falla La Baja) como una rama de la Falla de Cucutilla fue sugerida por Ward et al., (1973); Mendoza y Jaramillo (1979) complementa que la localización de las estructuras mineralizadas a lo largo de la quebrada La Baja, sugiere la presencia de un cinturón estructural con dirección noroeste. Gran parte de los lineamientos fotogeológicos están orientados en esta dirección, donde los cursos de las quebradas

Chicagua, San Juan y La Baja corresponden a estos lineamientos y probablemente algunos de estos correspondan a fallas.

Esta dirección de lineamientos puede ser interpretada como una falla producida por esfuerzos tensionales en un sistema controlado por cizallamiento (Ward et al., 1971). Pérez y Vargas (1993) en su trabajo de grado, realizan la medición de las direcciones de diaclasas dando como resultado una tendencia N50°-80°W, N50°-90°E y N0°-20° con buzamientos 40°-90°W y 40°-80°E, la dirección de los esfuerzos es de $\delta 1=N45^\circ W/25^\circ SW$, $\delta 2=S55^\circ E/NE$ y $\delta 3=S48^\circ W/5^\circ NW$.

Existe una disposición según dos direcciones preferenciales de filones, más del 50% de una muestra de 44 filones se orienta en el rango N30°W -N60°W, mientras que un 20% de esa muestra lo hace entre N70° W y E-E (Mendoza y Jaramillo 1979).

Durante la mineralización, el principal control estructural pudo estar relacionado con la Falla de La Baja (Bueno, 1955 y Carvajal y Rodríguez, 1975), además de relacionarse con sistemas de diaclasas; estas familias de diaclasas sirvieron como canales de conducción para la depositación del contenido metálico de las soluciones mineralizantes (Mendoza y Jaramillo, 1979).

Mantilla, (2019) caracteriza la geología estructural de la zona por juegos de diaclasas, vetas o venas, y fallas sobreimpuestas a tren Andino dominante. Las vetas o venas en sí mismo representan rasgos estructurales, dado que desde el punto de vista genético el emplazamiento de estos cuerpos mineralizados se halla asociado a rellenos a zonas de fractura y zonas de brecha. Las direcciones predominantes vergen en dirección NNW con un patrón Andino de las estructuras regionales.

2.10 MINERALIZACIÓN

Los tipos de mineralizaciones en el municipio de California, Santander varían desde brechas hidrotermales hasta filones mineralizados que se pueden encontrar en la Vereda Angosturas y a lo largo de la Quebrada La Baja (Ward et al., 1971), incluyendo diferentes tipos de roca caja y minerales ganga.

El Filón de San Celestino, una de las primeras mineralizaciones descritas en el área, tiene su origen en material fracturado de la Falla La Baja, que ha sido cementada por el relleno hidrotermal, dando así origen a la brecha hidrotermal (Bueno, 1955). Para Pagnacco (1961), esta brecha se desarrolló en cuatro fases: Una primera fase tectónica responsable de la aparición de fracturas, la segunda fase correspondiente a la primera etapa de mineralización con presencia de pirita, enargita, cuarzo y galena, posteriormente otra fase de mineralización contiene tetraedrita y blenda. Luego, una segunda etapa tectónica origina la falla mayor del área y la posterior brechación de los minerales. Una tercera fase mineralizante contiene pirita II, marcasita y cuarzo II para finalmente ocurrir un proceso de lixiviación y alteración con covelina y calcosina. Además, en el mismo trabajo Pagnacco concluye que las mineralizaciones de este filón fueron producidas por el batolito que originó la formación del pórfido de California.

La mineralización de esta mina se puede asociar con la presente en las minas La Mascota y La Catalina gracias a la presencia de minerales como calcopirita, covelina, bornita, galena, esfalerita; además, el oro de estas minas se relaciona a la gran cantidad de molibdeno, plomo y cobre y tungsteno (Ward et al., 1971).

Mendoza y Jaramillo (1979), caracteriza la mineralización de esta área con la presencia de pirita, galena, esfalerita, tetraedrita, marcasita y calcopirita y enargita en menores cantidades. La

presencia de cuarzo gris de tipo criptocristalino y asociado de manera local con minerales como adularia, marcasita y alunita demuestra que la sílice precipitó en condiciones de baja temperatura como fase metaestable de las soluciones.

Otra de las minas en el área es La Bodega, donde se presenta una asociación mineral de cuarzo, pirita como mayor sulfuro de oro y plata, alunita por la oxidación de la pirita (Pinto, 1991). Barnes (1979) aporta que la existencia de alunita evidencia un fluido con contenido considerable de concentraciones de sulfato, como alteraciones de algunas venillas en rocas de composición granítica.

Díaz y Guerrero (2006), en Contreras (2010) describe en el Depósito Angosturas, cuatro diferentes tipos de menas auroargentíferas: La primera de ellas con dos paragénesis diferentes, una con oro, plata, tetraedrita, pirita y telurio y otra con oro, plata, tetraedrita y digenita; la segunda mena contiene una paragénesis con oro, plata, pirita, calcopirita, digenita, tetraedrita y enargita; la tercera mena tiene una paragénesis con oro, plata y pirita; la última mena presenta una primera paragénesis con pirita, calcopirita y una segunda paragénesis con limonita, ilmenita y magnetita. Este depósito se ha catalogado genéticamente como un yacimiento de origen magmático o de tipo magmático-hidrotermal (Pinto, 1991).

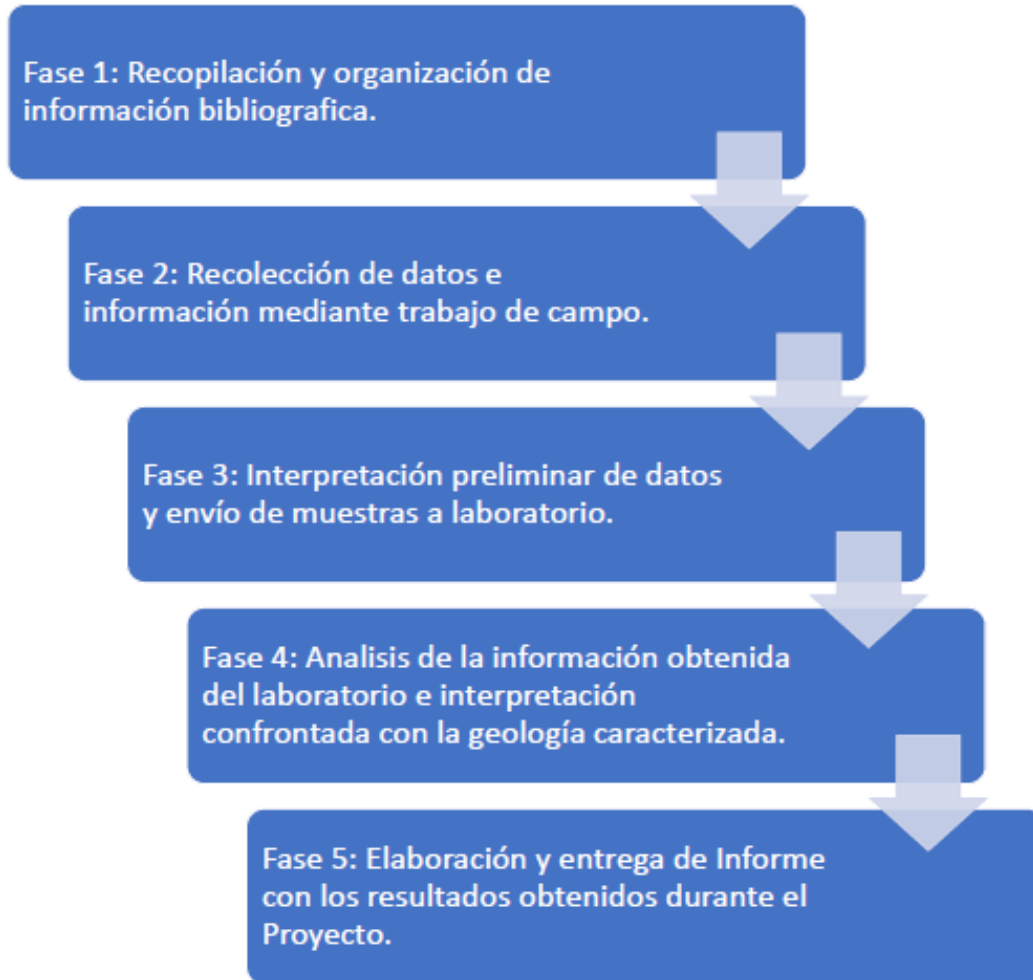
En el desarrollo del presente trabajo se puede observar la presencia de sulfuros pirita, calcopirita principalmente, con el desarrollo de minerales secundarios hasta el desarrollo de geles de hierro por descomposición total de los sulfuros, las aguas en estos puntos presentan un pH entre 1,5 y 2. Ver figura 10.



Figura 10: Aguas acidas de origen geogénico con presencia de geles de hierro y aluminio. Evidencia de la descomposición natural de sulfuros dentro del área de estudio.

3. METODOLOGÍA

Para la realización de los objetivos que se plantean, se seguirá una metodología correspondiente a 5 fases mostradas a continuación:



Cabe resaltar la participación y el apoyo recibido por el Geólogo y Docente de la Universidad Industrial de Santander William Mantilla Orduz durante toda la realización del proyecto, desde la toma de datos en el trabajo de campo hasta su posterior tratamiento y análisis, parte fundamental a la hora de llevar a cabo este trabajo.

3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA

La fase de consulta y recopilación de información bibliográfica y complementaria se llevó a cabo durante toda la duración de la práctica. Esta información se obtuvo gracias a la base de datos que tiene la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander (UIS), de la información que está disponible en el Instituto Colombiano de Geología y Minas (INGEOMINAS) como lo son investigaciones realizadas en el área de estudio, proyectos de grado, trabajos de cartografía y memorias explicativas de los mismos.

En base a esto, se pudieron entender las características geológicas tanto regionales como locales: litología, control estructural del área, geomorfología además de los diferentes modelos que se han realizado para la ocurrencia de la mineralización en el sector; inicialmente con la información bibliográfica se realizó la planeación del trabajo de campo y posteriormente los datos obtenidos en este trabajo fueron comparados con la bibliografía.

3.2 TRABAJO DE CAMPO

Para esta segunda etapa, se realizó una salida de campo con una duración aproximada de 2 semanas, para poder desarrollar la alinderación del área (toma de puntos con GPS), una cartografía local, realizar una recolección de muestras tanto de roca, como en apiques para su posterior análisis en laboratorio, se tomaron datos estructurales de fracturas y venas, se realizó también toma de datos de magnetometría, recorriendo toda el área de estudio, a través de los diferentes carretables que conectan el área, también se recorrieron diferentes quebradas, se visitaron las diferentes minas tanto activas como en abandono que se han explotado por los mineros durante décadas.

La toma de datos de magnetometría se llevó a cabo con el Medidor de Susceptibilidad Magnética y Conductividad KT-10, realizando transectas de aproximadamente 10 metros y de una distancia

de 100 metros entre ellas, estos datos posteriormente se trabajaron con el software SPLUS, ArcGis. Este equipo es muy versátil, permitiendo tomar los datos geofísicos de manera práctica en campo, en lugares donde puede ser complicado llevar un equipo más avanzado o no se tenga el presupuesto para este.

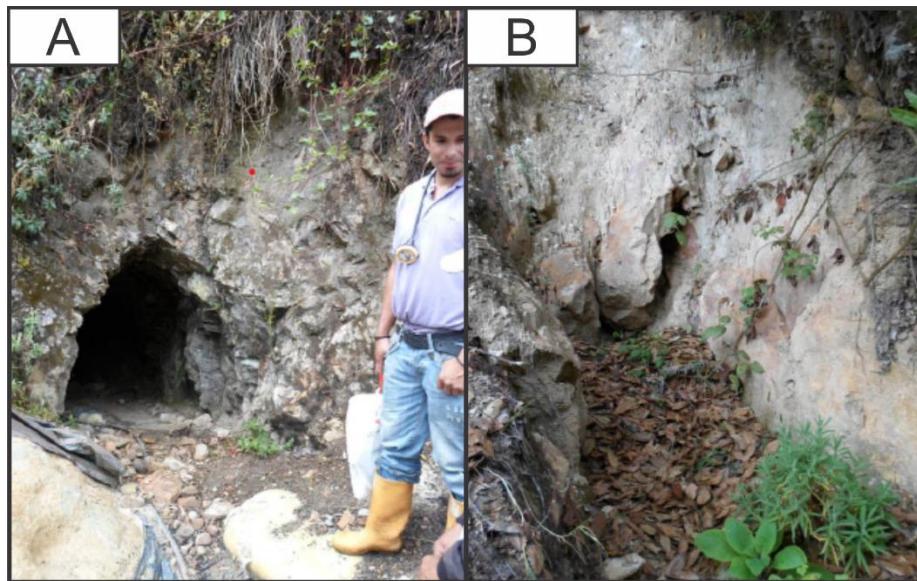


Figura 11: Minas presentes en el área de estudio.
La figura A muestra una mina en actividad,
La figura B muestra un frente de mina en abandono por caída.

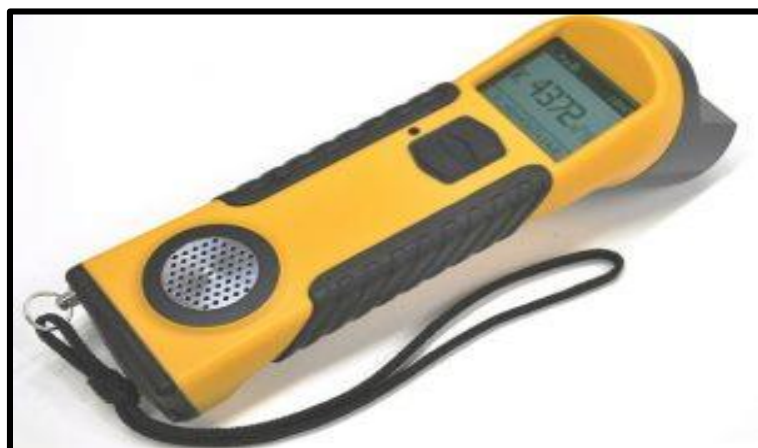


Figura 12: Equipo usado para la toma de datos de Magnetometría (KT-10)

Para el estudio geoquímico del área, se tomaron alrededor de 120 muestras entre apiques, roca alterada en los frentes de mina y sedimentos activos de los diferentes drenajes que recorren la zona (principalmente suelos), cada una de ellas tenía un peso aproximado de 4.5 Kg y fueron leídas en ICP-OES y para oro y plata adicionalmente ensayos Ensayo al Fuego, en el Laboratorio SGS en la ciudad de Medellín.

3.3 INTERPRETACIÓN INICIAL DE INFORMACIÓN

En esta fase, se enviaron las muestras tomadas en campo para ser analizadas en Laboratorio, a la vez que se compactaban los datos que se obtuvieron en la salida de campo, se realizó la cartografía de la alinderación del área en base a los puntos obtenidos por GPS (esta cartografía se realizó en el software QGIS), los resultados tanto de geoquímica como de magnetometría fueron tratados en el software SPLUS y ArcGis en forma integral con la información previa obtenida en la primera fase, para obtener mapas de anomalías que dan una posible guía para poder ubicar la mineralización de mejor manera, direccionarla entre otros factores.

3.4 ANALISIS INFORMACIÓN GEOQUIMICA

Luego de recibir los resultados del Ensayo al Fuego, estos se analizaron con el fin de obtener una descripción litogeoquímica de las unidades presentes en el área, poder definir composicionalmente las mismas, la presencia de elementos para posteriormente plasmarlos en un mapa, con lo cual se pudo tener una idea de donde se puede encontrar un mayor potencial de explotación y la expansión o continuidad de la mineralización allí. (Ver figura 34).

3.5 ELABORACIÓN DEL INFORME O LIBRO

El último paso fue compactar toda la información obtenida durante la práctica en este informe final, que será presentado y sustentado a la Universidad Industrial de Santander y expuesto a la Asociación de Mineros Artesanales de California (ARTEMINEROS), donde posteriormente se discutirá la continuación del Proyecto Minero en el Área.

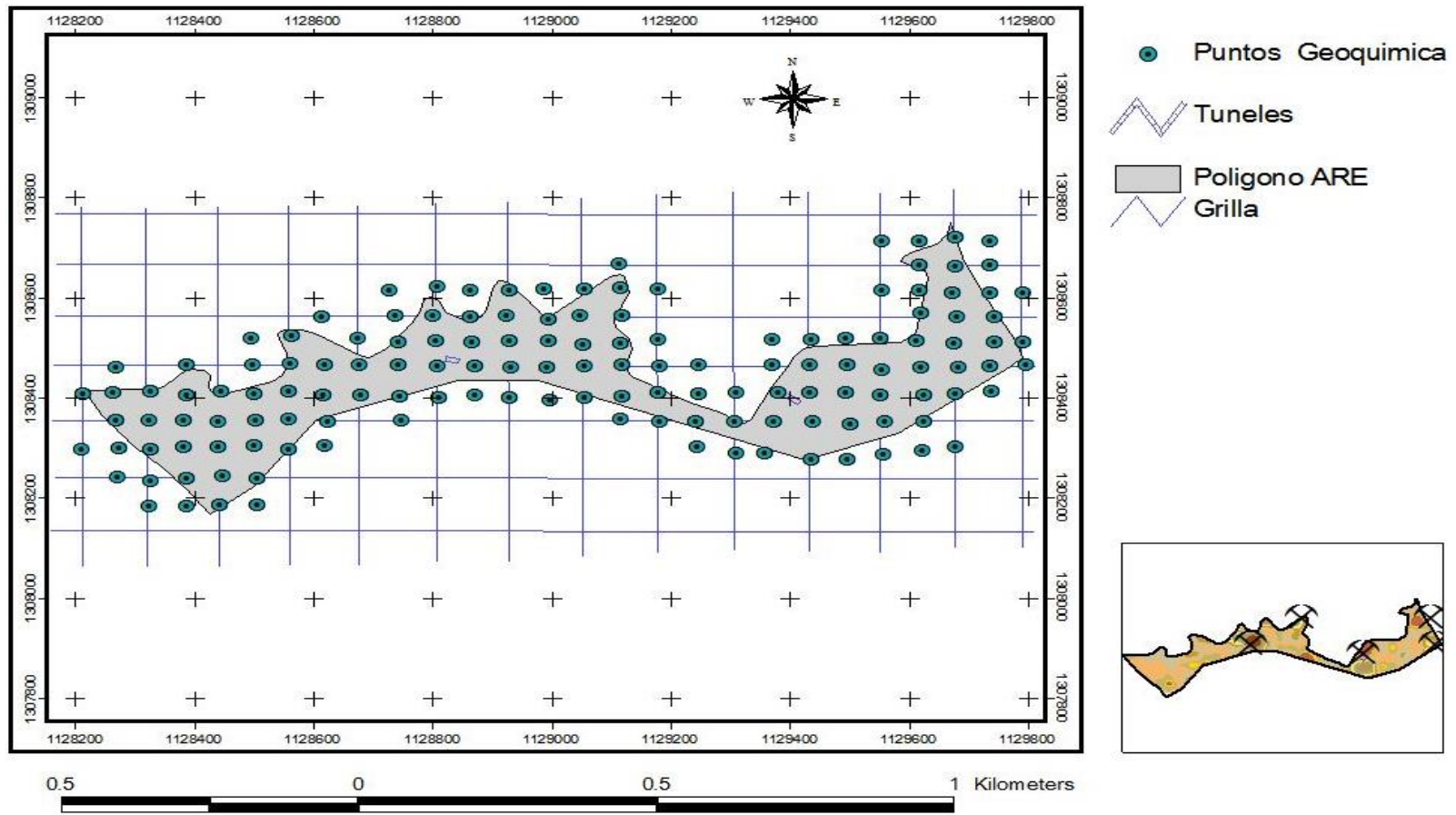


Figura 13: Grilla de Muestreo Geoquímico.

4. RESULTADOS

4.1 GEOLOGÍA DE CAMPO

Las observaciones de campo indican que la parte noroeste de Aposentos consiste en una intercalación relíctica de anfibolitas, gneis boníticos, gneis de biotita-hornblenda y ortogneises graníticos con una foliación tectónica con tendencia NS a NNE bien desarrollada instruidos por cuerpos tipo diorita-cuarzo diorita. Sin embargo, la litología dominante en el área objetivo está representada por cuarzo dioritas que contienen biotita y hornblenda no foliadas.

En la parte noroeste del área, las rocas metamórficas están en contacto estructural con las rocas plutónicas. Este contacto estructural representa un sistema de falla de deslizamiento casi vertical con tendencia NNE con indicadores cinemáticos consistentes con una dirección de movimiento dextral. Estas fallas de deslizamiento, con hasta un 5% de pirita, muestran una deformación predominantemente frágil, incluidas brechas de fallas. En terreno se han definido una serie de segmentos de falla asociados a contactos litológicos, y a afectación directa sobre los cuerpos mineralizados, rasgos observados en el túnel o socavón El Laurel y sobre un cuerpo mineralizado expuesto en sobre el extremo SE. Observaciones realizadas hasta donde las condiciones de seguridad lo han permitido, se observan dos estructuras de falla en dirección NNE –rasgos cinemáticos por definir y una falla normal más puntualmente de dirección NNW (Ver Figura 14). Este es un ítem de gran valor, el cual debe ser profundizado en trabajos subsiguientes.

El desplazamiento total es indeterminado. Las zonas de cizalla dextral frágil, dúctil, con tendencia NNE también sobreimprimen la foliación metamórfica regional y las rocas plutónicas; lo que indica que la tectónica regional transcurrente es posterior a la edad del metamorfismo regional y la intrusión de las rocas plutónicas en Aposentos.

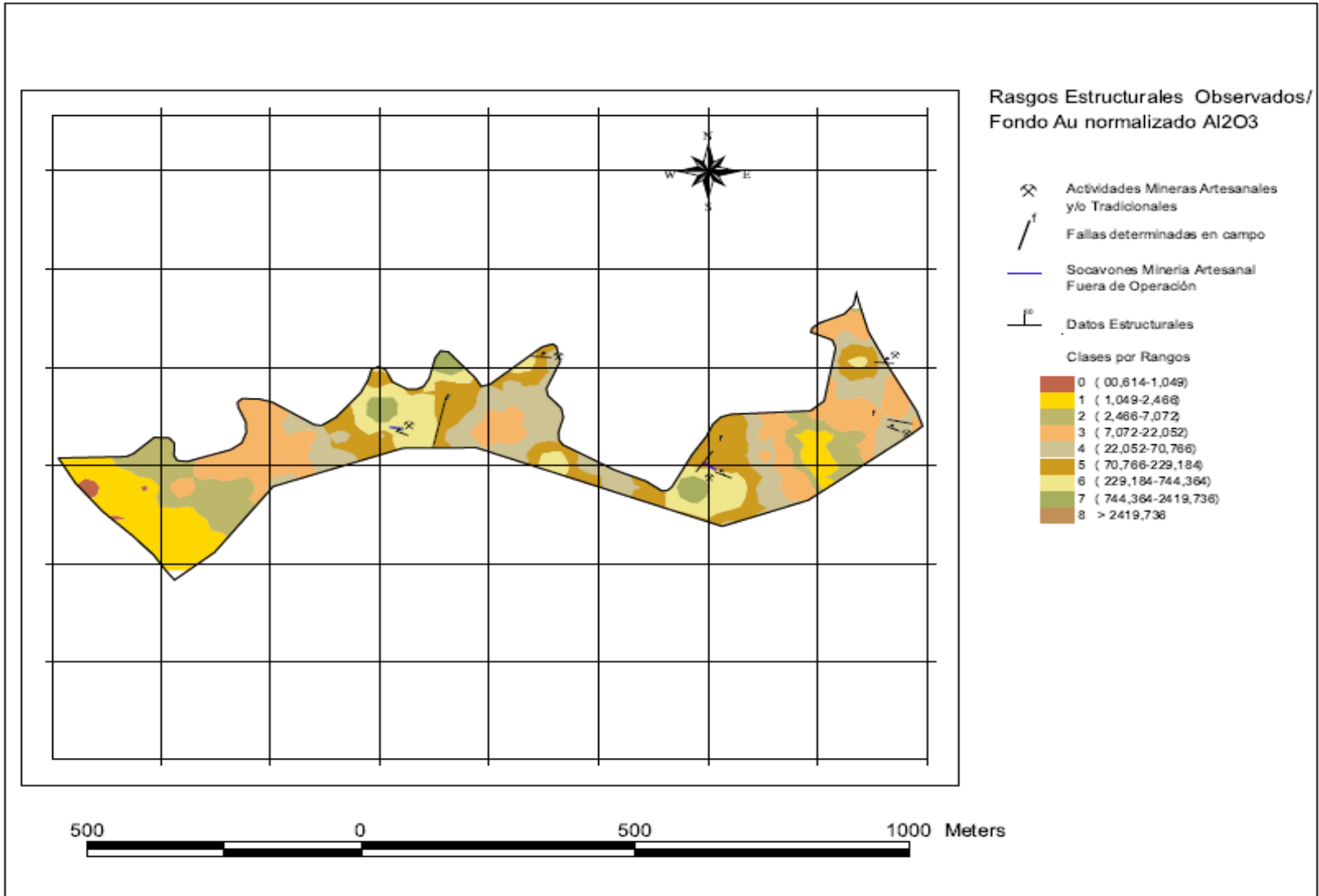


Figura 14: Mapa Estructural General realizado mediante observaciones en el Trabajo de Campo.

La roca fresca no se encuentra muy bien expuesta dado que las rocas metamórficas e intrusivas están muy intemperizadas y erosionadas. Afloramientos, cortes de caminos y arroyos exponen principalmente el saprolito; que puede alcanzar algunos metros de espesor localmente. Mantilla, (2019) proporciona descripciones de las características del regolito y los perfiles de meteorización.

La mayor parte del trabajo de minería artesanal sigue un transecto de tendencia NO. El oro de alto grado está contenido en vetas con tendencia NNW, de 1 a 5 m de espesor (Ver Figura 15), que están rodeadas de zonas de oro de menor grado diseminadas en las rocas plutónicas. Igualmente, se observan localidades en las cuales el espesor del suelo es poco, debido procesos de erosión.

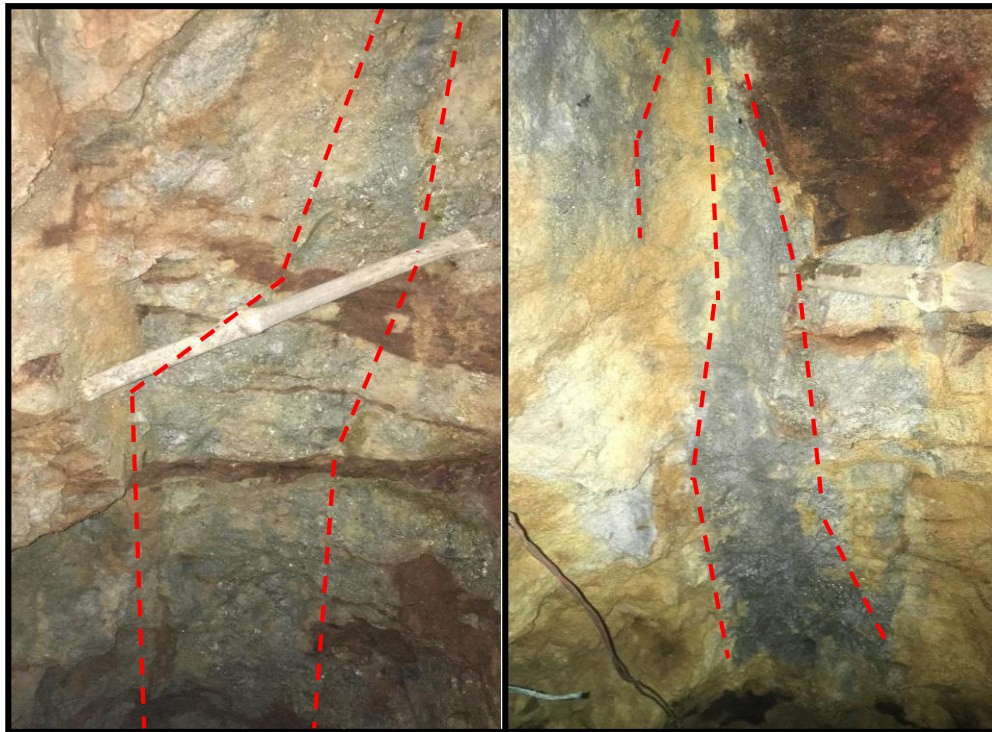


Figura 15: Veta de Cuarzo presente en diferentes frentes de mina. Se resalta que en ambos frentes y como es común en todo el proyecto, las venas mineralizadas poseen la misma dirección NNW. En la imagen de la derecha se puede observar la afectación tectónica sobre las mismas.

4.2 INTERPERISMO QUIMICO

En Aposentos se ha desarrollado una intensa meteorización química y junto con la cubierta vegetal hacen imposible desde el punto de vista práctico la identificación en campo de las unidades litológicas, las características de alteración hidrotermal y los sistemas mineralizados (Ver Figura 16). De tal forma, las características litológicas primarias han sido borradas por acción del intemperismo, es esencial entender la tendencia la movilidad o no de los elementos objetivo y de los elementos guía (*pathfinder*) durante la meteorización química previo a formular modelos que relacionen alguna anomalía geoquímica puntual y a una potencial identificación de una mineralización primaria hipogénica en profundidad. Ya que a través de procesos de meteorización química se pueden crear anomalías positivas falsas, o alternativamente, producir resultados pseudonegativos sobre un sistema mineralizados. La figura 17 muestra el mapa de índice de intemperismo del área de trabajo.



Figura 16: Zona de intenso intemperismo dentro del área de estudio.

Prácticamente, las estructuras primarias de la roca han desaparecido en su totalidad y un conspicuo desarrollo de minerales de intemperismo. Rasgos del saprolito en Aposentos. Cuarzo diorita intensamente alterada con relictos de texturas ígneas conservadas.

Con el propósito de cuantificar y cartografiar la distribución de los materiales meteorizados, se definió como alternativa el índice químico de alteración ($CIA = 100Al_2O_3 / [Al_2O_3 + Na_2O + K_2O + CaO *]$) en proporciones molares donde CaO * representa CaO solo en silicatos. El Intemperismo puede transformar en medios tropicales en forma severa los minerales primarios tales como feldespatos, anfíboles, micas y piroxenos; dando como resultado una fuerte remoción de la mayoría de los óxidos de elementos principales (por ejemplo, CaO y Na₂O), y un enriquecimiento en coeficientes de Al₂O₃ en el perfil residual. Dentro de este informe, la meteorización química se ha clasifica de manera empírica así: Pobre (CIA <62), Moderada (CIA = 62-82) y Fuerte (CIA > 82).

El mapa litogeoquímico del índice químico de alteración (CIA) muestra que más del 55% de las muestras representan los productos de meteorización fuerte con valores de CIA > 82. La meteorización química es un proceso de transferencia de masa-pérdida en este caso- ya que gran parte de los elementos principales se eliminan del sistema. Como resultado, los elementos que son retenidos (por ejemplo, Al₂O₃, TiO₂, Zr, Sc) en el perfil intemperizado elevan su concentración debido al enriquecimiento residual. De tal forma, se observan algunas muestras tienen > 30% en peso de Al₂O₃; lo que indica que la acción del intemperismo puntualmente produjo perfiles bauxíticos en Aposentos.

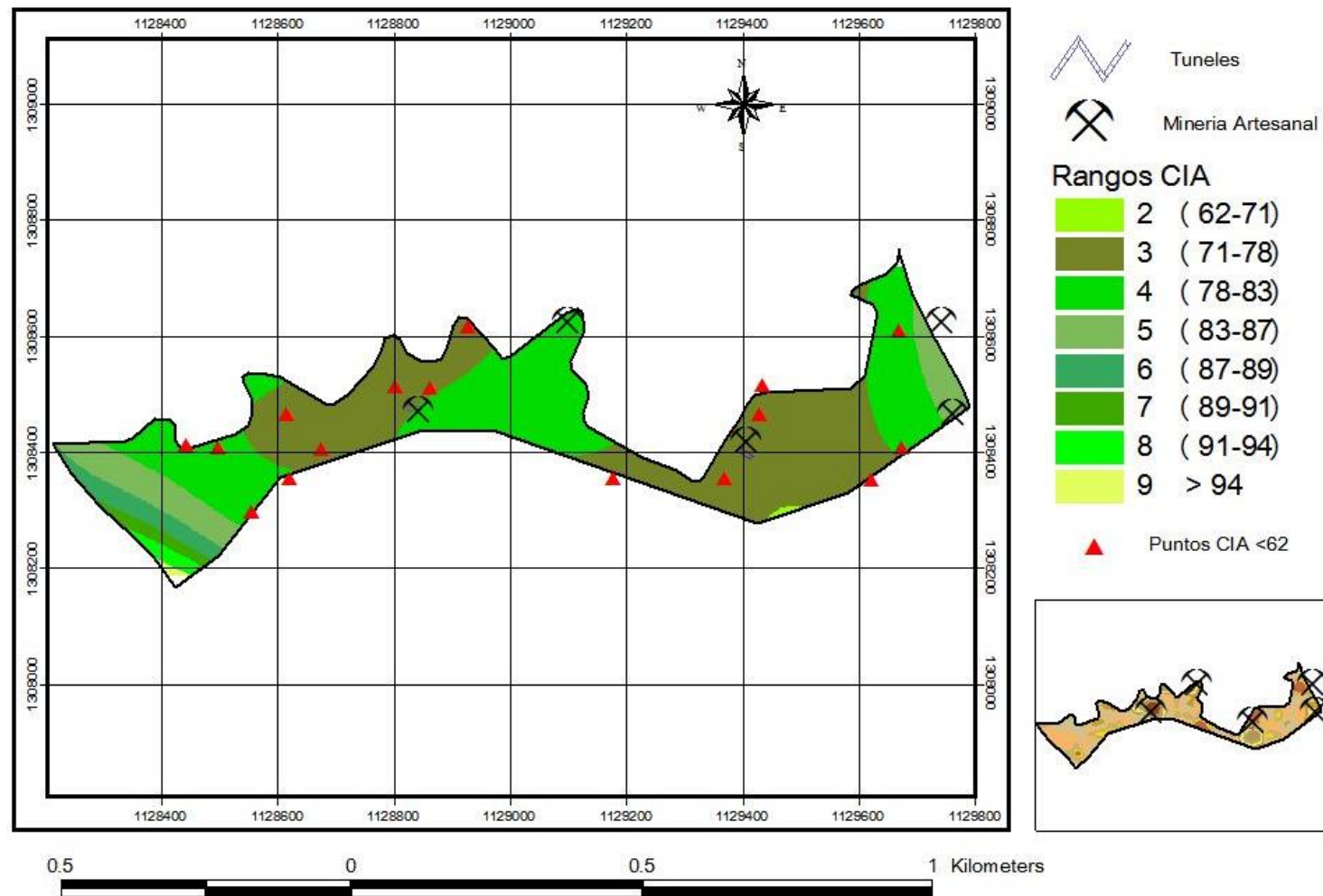


Figura 17: Mapa de índices de alteración química (CIA).

Muestra puntos de localización muestras con bajo grado de alteración química (CIA <62), áreas moderadamente intemperizadas (CIA 62-82), y áreas intensamente intemperizadas (CIA > 82). Los datos CIA junto su cartografía demuestran que un proceso de intemperismo de moderado a intenso ha actuado sobre este sector de Aposentos.

Variable	CIA
Sample size	111
Lowest value	31,5186
Highest value	97,3894
Arithmetic mean	79,3515
95% CI for the Arithmetic mean	76,4037 to 82,2993
Median	83,3893
95% CI for the median	81,0784 to 85,9019
Variance	245,5918
Standard deviation	15,6714
Relative standard deviation	0,1975 (19,75%)
Standard error of the mean	1,4875
Coefficient of Skewness	-1,4067 (P<0,0001)
Coefficient of Kurtosis	1,4549 (P=0,0194)
D'Agostino-Pearson test for Normal distribution	reject Normality (P<0,0001)
Percentiles	95% Confidence interval
2,5	40,0000
5	40,0000
10	55,3462
25	74,9443
75	90,6735
90	94,6510
95	95,9684
97,5	96,3086

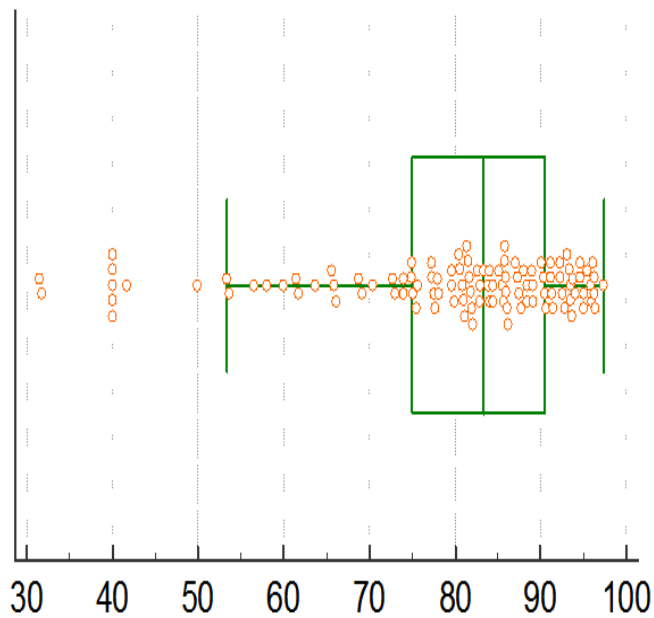


Figura 18: Estadística descriptiva para el índice de alteración química (CIA) y Box-Plot.

Se observa la distribución del índice de las muestras analizadas. El Diagrama Box-Plot indica el comportamiento de los elementos objetivo y los elementos guía (pathfinder) durante el proceso de meteorización. Gran parte de los elementos se concentran a lo largo del perfil de meteorización. La Ag muestra un comportamiento particular, tiende a concentrarse en las primeras fases del proceso de meteorización y se removiliza puntualmente durante la fase más fuerte de meteorización. La concentración de los elementos objetivo y los elementos guía conforma un patrón común.

Es claro que los elementos Au, As y Pb están enriquecidos de forma residual en perfiles fuertemente degradados. La plata se enriqueció de manera residual en las primeras etapas de la meteorización y se removilizó localmente durante la meteorización fuerte, la Ag es más móvil que el Au.

El análisis de 16 elementos entre los elementos objetivo y elementos guía, lo conforman Au, Ag, As, S, Mo, Cu, Pb, Zn, Cd, Sb, Bi, Hg, Te, In, Sn y Se indican que estos elementos se conservaron principalmente durante la meteorización y, por lo tanto, sus concentraciones relativas se enriquecen preferentemente en perfiles fuertemente intemperizados.

El comportamiento de los elementos objetivo y elementos guía se muestra algo más aleatorio en los perfiles más fuertemente intemperizados ($CIA > 90$); en el que estos elementos muestran un comportamiento inmóvil y móvil que conduce a la remoción o concentración puntual. Se efectuó medición de pH en las diferentes muestras, el rango de valores en las muestras de suelo varió entre 4.18 y 7.5. Es de destacar que el suelo mostro mayor acidez con el aumento del intemperismo. Los perfiles fuertemente degradados exhiben valores de pH promedio de 4.9. En consecuencia, las características ácidas de los perfiles extremadamente degradados explican la removilización local de los elementos objetivo y elementos guía.

4.3 UNIDADES LITOGEOQUIMICAS

Aproximadamente el 14.41 % de las muestras muestra valores de CIA < 62 indicando que se sometieron a una meteorización química poco intensa. Estas muestras con bajo grado de intemperismo preservan sus rasgos geoquímicos primarios casi intactos y se grafican en los campos de diorita y diorita de cuarzo en el diagrama de álcali-sílice total (TAS) (Cox et al., 1979; Wilson, 1989). Por lo anterior, el sustrato rocoso en el área muestreada consiste principalmente en rocas plutónicas alcalino-cálcicas intermedias a félsicas; litologías típicas de arcos magmáticos relacionados con la subducción. (Ver Figura 19)

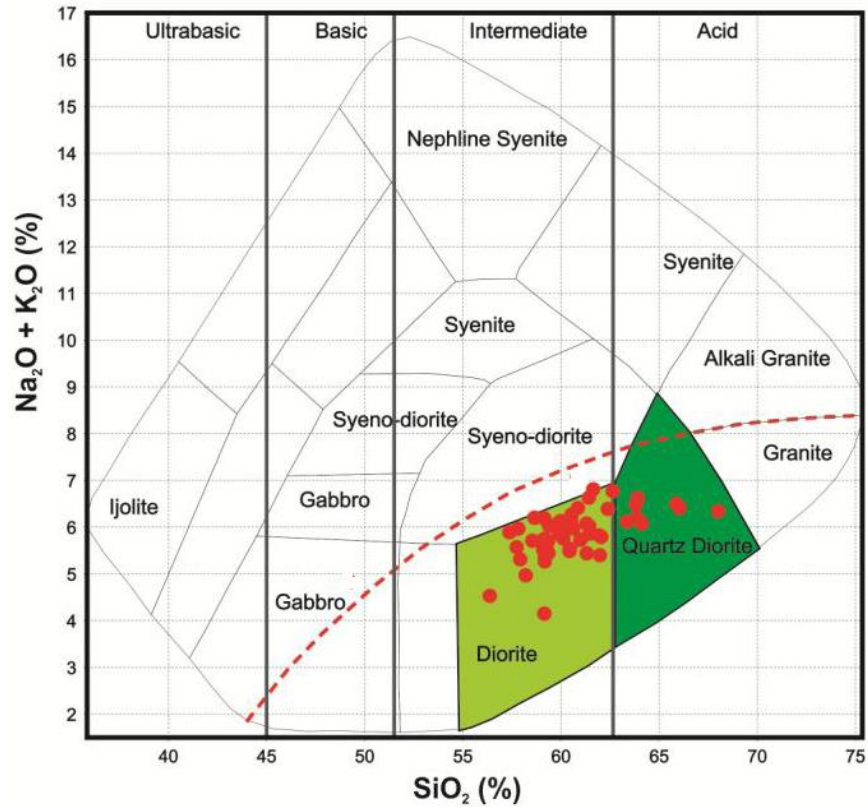


Figura 19: Diagrama de álcali-sílice total (TAS).

Las muestras ligeramente intemperizadas, representan el 14,4 % de la cuadrícula de muestreo total, indican consistentemente que las rocas plutónicas en Aposentos son de composición intermedia a félsica. La diorita y cuarzo-diorita son las litologías dominantes en el sector. La línea punteada roja representa el límite entre las rocas alcalinas y cálcicas. Las rocas plutónicas en Aposentos se ubican debajo de la línea roja discontinua. Diagrama TAS de Wilson (1989) después de Cox et al. (1979).

Con el propósito de realizar el mapeo litogeoquímico se ha usado la relación TiO_2 / Zr y la relación Sc / Al_2O_3 , ya que el Ti, Zr, Sc, Al_2O_3 son inmóviles durante el proceso de intemperismo químico y, en consecuencia, su relación refleja la firma geoquímica primaria del sustrato rocoso intacto. Las muestras con una relación TiO_2 / Zr más alto también muestran una relación Sc / Al_2O_3 más alta, lo que indica que tienen una composición menos fraccionada o más máfica. La relación TiO_2 / Zr y Sc / Al_2O_3 presentan claramente las anomalías geoquímicas positivas que indican la ubicación de las dioritas dentro de un conjunto dominante de diorita de cuarzo (Figuras 20 y 21).

Dentro del área del ARE aparecen emplazadas rocas tipo dioritas dentro de las dioritas de cuarzo más fraccionadas, lo cual señala que el conjunto plutónico en Aposentos es una intrusión compuesta que se formó mediante múltiples inyecciones de magmas intermedios a félsicos con temperaturas que oscilan entre 750 y 900 ° C.

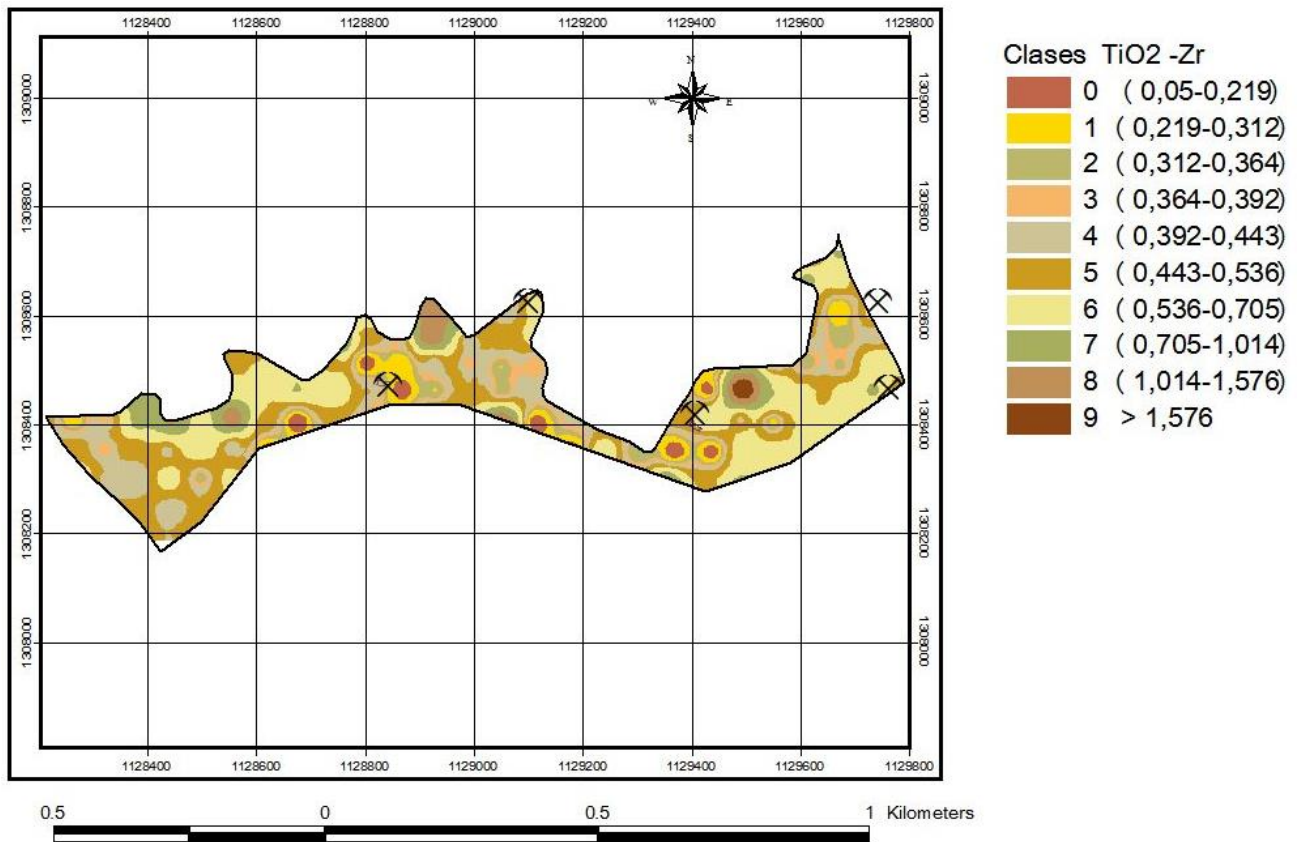


Figura 20: Mapa geoquímico de la relación TiO₂/Zr.

La relación delinea claramente las anomalías geoquímicas positivas que indican la ubicación de las dioritas dentro de una suite de diorita de cuarzo dominante. Esta relación discrimina facies intrusivas, Las muestras con altas relaciones entre elementos son dioritas menos fraccionadas, entre tanto aquellas con relaciones entre elementos más bajas corresponden a dioritas de cuarzo más fraccionadas. Las relaciones TiO₂ / Zr y Sc / Al₂O₃ son excelentes discriminantes litogeoquímicos en ambientes fuertemente meteorizados porque estas relaciones de elementos no se modifican significativamente por acción del intemperismo.

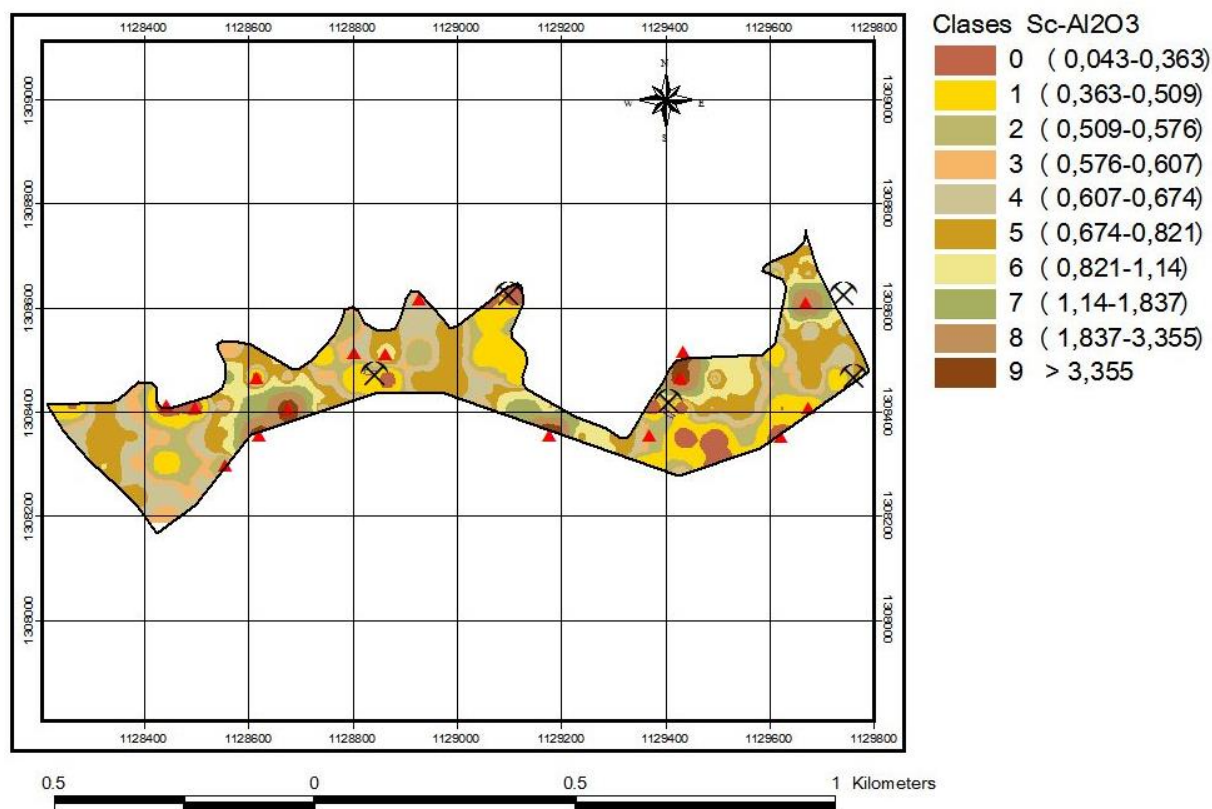


Figura 21: Mapa geoquímico de la relación Sc/Al₂O₃.

La relación delinea claramente las anomalías geoquímicas positivas que indican la ubicación de las dioritas dentro de una suite de diorita de cuarzo dominante. Esta relación discrimina facies intrusivas. Las muestras con altas relaciones entre elementos son dioritas menos fraccionadas, entre tanto aquellas con relaciones entre elementos más bajas corresponden a dioritas de cuarzo más fraccionadas. Las relaciones TiO_2 / Zr y Sc / Al_2O_3 son excelentes discriminantes litogeoquímicos en ambientes fuertemente meteorizados porque estas relaciones de elementos no se modifican significativamente por acción del intemperismo.

4.4 ANOMALIAS MONOELEMENTALES

La relativa inmovilidad de los elementos objetivo y elementos guía o pathfinder en el perfil intemperizado implica que puedan ser usadas como anomalías geoquímicas positivas para vectorizar la mineralización primaria hipogénica. Sin embargo, dado que la meteorización no ha sido homogénea en toda el área, las zonas de meteorización fuerte pueden dar como resultado una mayor relación de valor pico a umbral; que en última instancia podría producir anomalías falsas

positivas en perfiles fuertemente degradados. Por el contrario, la mineralización hipógena en profundidad puede no ser detectada en perfiles mal degradados; en el cual los resultados falsos negativos pueden ser la consecuencia de un valor pico más bajo a una relación umbral, en relación con las zonas fuertemente intemperizadas.

Para evaluar los posibles problemas derivados de la meteorización diferencial, el mapeo geoquímico de los elementos objetivo y elementos guía se normalizó al contenido de Al_2O_3 dado que la concentración de Al_2O_3 también se enriquece de forma residual con el aumento de la meteorización. Por lo tanto, las anomalías producidas por los elementos objetivo y elementos guía normalizados al aluminio son independientes de la intemperie; lo que reduce la posibilidad de producir anomalías positivas falsas sobre el lecho de roca estéril o resultados falsos negativos por encima de la mineralización hipógena.

La evaluación de los elementos de objetivo y pathfinder normalizados en aluminio indica que en Aposentos las anomalías geoquímicas no son el resultado de la meteorización diferencial. Por ejemplo, las Figuras 24 a 27 muestran los mapas geoquímicos para Au, Au / Al_2O_3 , Ag y Ag / Al_2O_3 . Los datos geoquímicos normalizados y no normalizados de aluminio producen una distribución geográfica similar de las anomalías de los metales preciosos. Las anomalías normalizadas de metales preciosos confirman que las anomalías geoquímicas en Aposentos son auténticas anomalías positivas relacionadas con la mineralización. Esto también se ve respaldado por el hecho de que las anomalías de los metales preciosos siguen la zona de tendencia NNW definida por las actividades mineras artesanales locales en Aposentos.

Aunque la minería artesanal constituye en sí misma una anomalía geoquímica, los resultados del estudio geoquímico en Aposentos han identificado nuevas áreas con mineralización potencial que los mineros artesanales locales no han descubierto.

La composición geoquímica de 16 elementos objetivo y elementos guía (Au, Ag, As, S, Mo, Cu, Pb, Zn, Cd, Sb, Bi, Hg, Te, In, Sn y Se) presentan un comportamiento de frecuencia acumulativa fuertemente similar, con desviaciones sobre las concentraciones por encima del 90%. Igualmente, el análisis de anisotropía geométrica para variación de direcciones 0°, 45°, 90°, y 135° y ratios 1.25, 1.5, 1.75, 2 presenta resultados de variogramas de alta a muy alta correlación espacial, ver figuras 22 y 23.

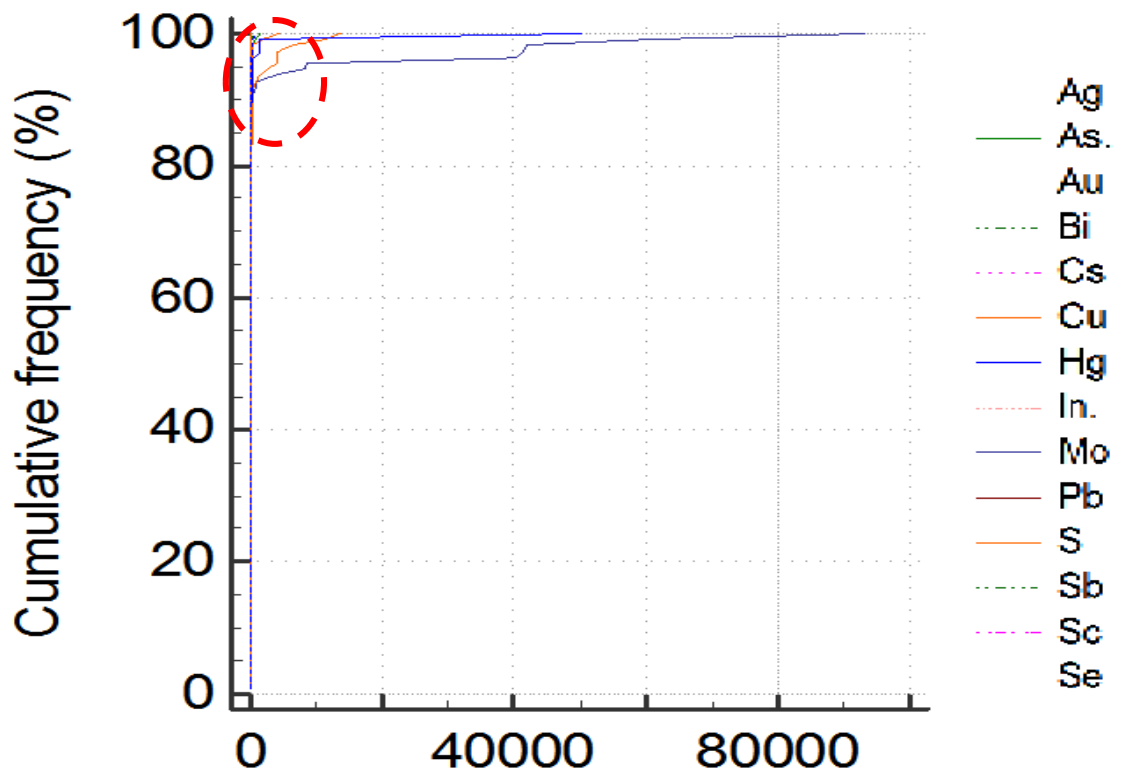


Figura 22: Curvas acumulativas para el grupo de 16 elementos.

El comportamiento en curvas acumulativas permite discriminar posibles procesos de acumulación de cada uno de los elementos. Los diferentes elementos presentan patrones afines.

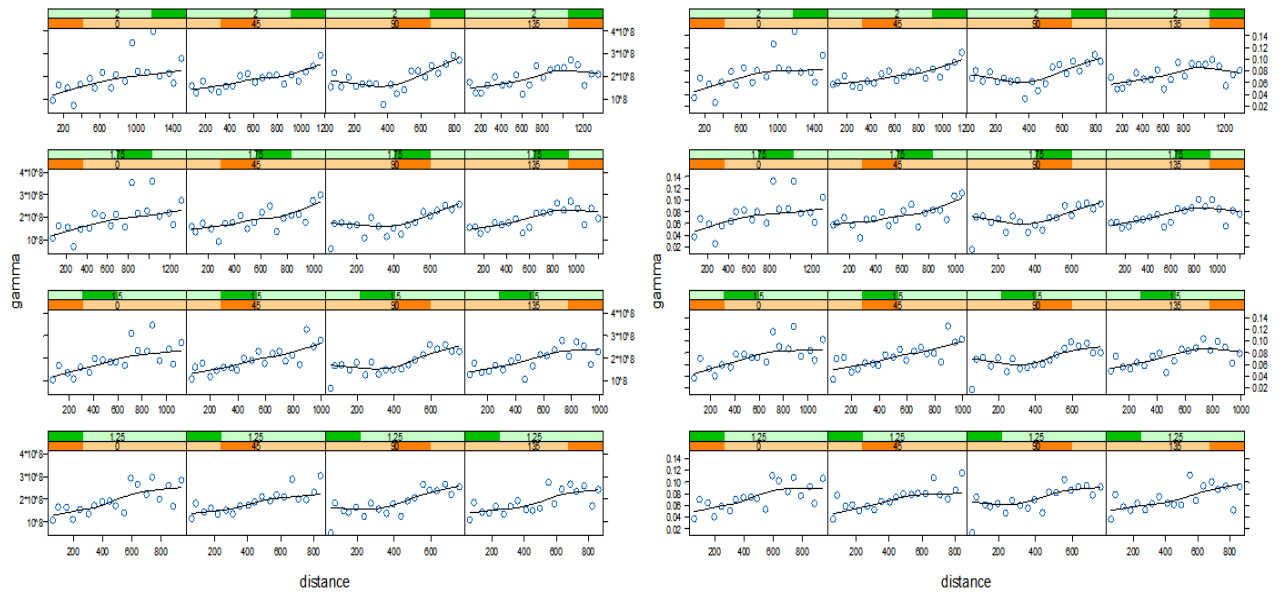


Figura 23: Curvas de Análisis de Anisotropía Geométrica para los elementos Ag (izq.) y el In (der.) Muestran alto grado de correlación espacial bajo condiciones de variación direccional y proporcional. Con el Au se observa muy alto grado de correlación espacial sobre una variación direccional de 90 y ratios de 1,5 y 1,75.

La similitud entre las anomalías no normalizadas y las normalizadas en aluminio discriminan claramente que las anomalías de los elementos guía (pathfinder) son independientes del proceso de intemperismo, en consecuencia, las anomalías determinadas pueden usarse para vectorizar la mineralización de metales preciosos. Se obtuvieron resultados similares para los diferentes elementos guía.

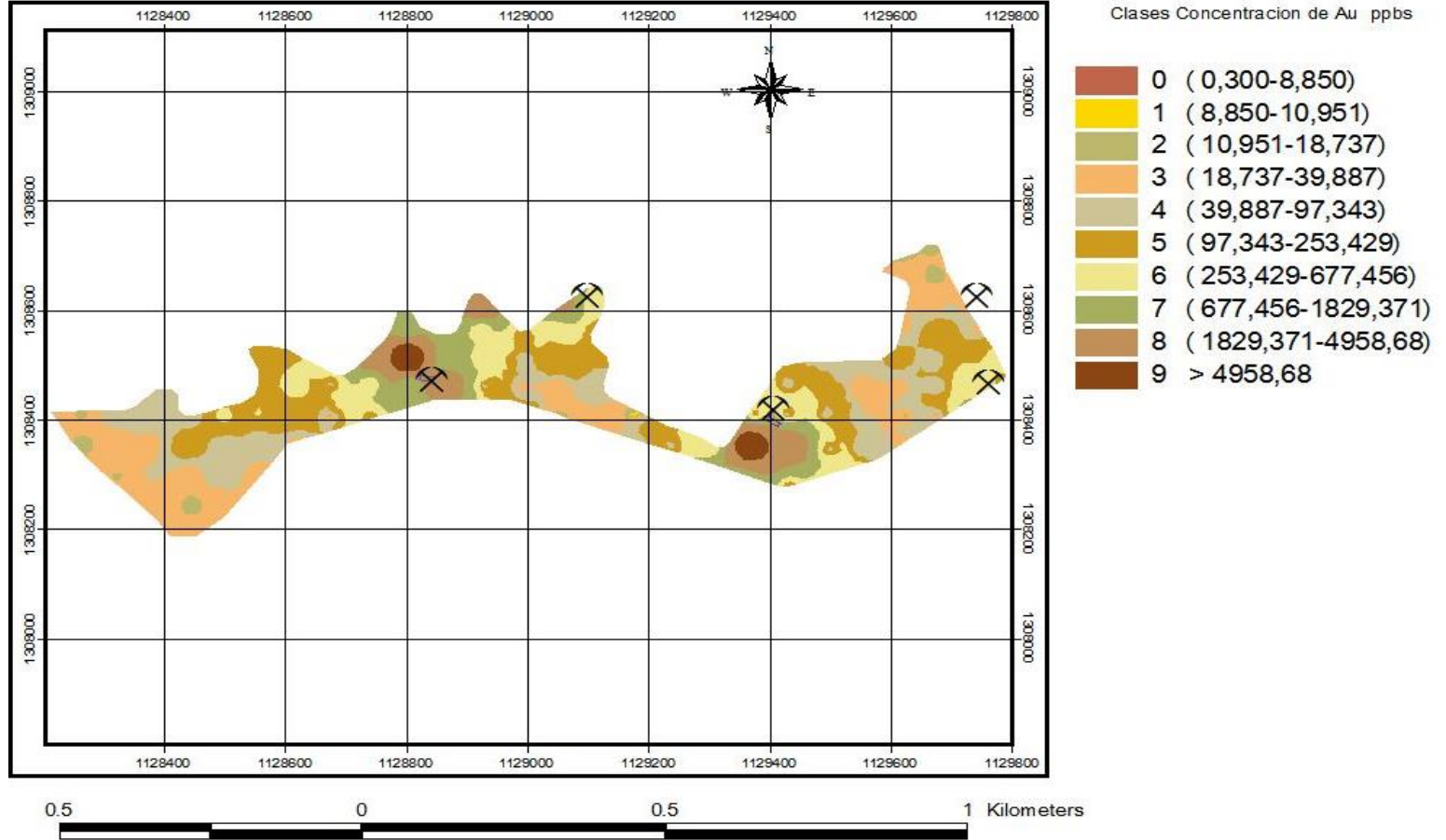


Figura 24: Mapa Geoquímico de la Concentración de Au. Anomalías de oro sin normalizar en Al_2O_3 . Las concentraciones no normalizadas producen anomalía en zonas de minería artesanal y otras nuevas que podrían despertar interés económico.

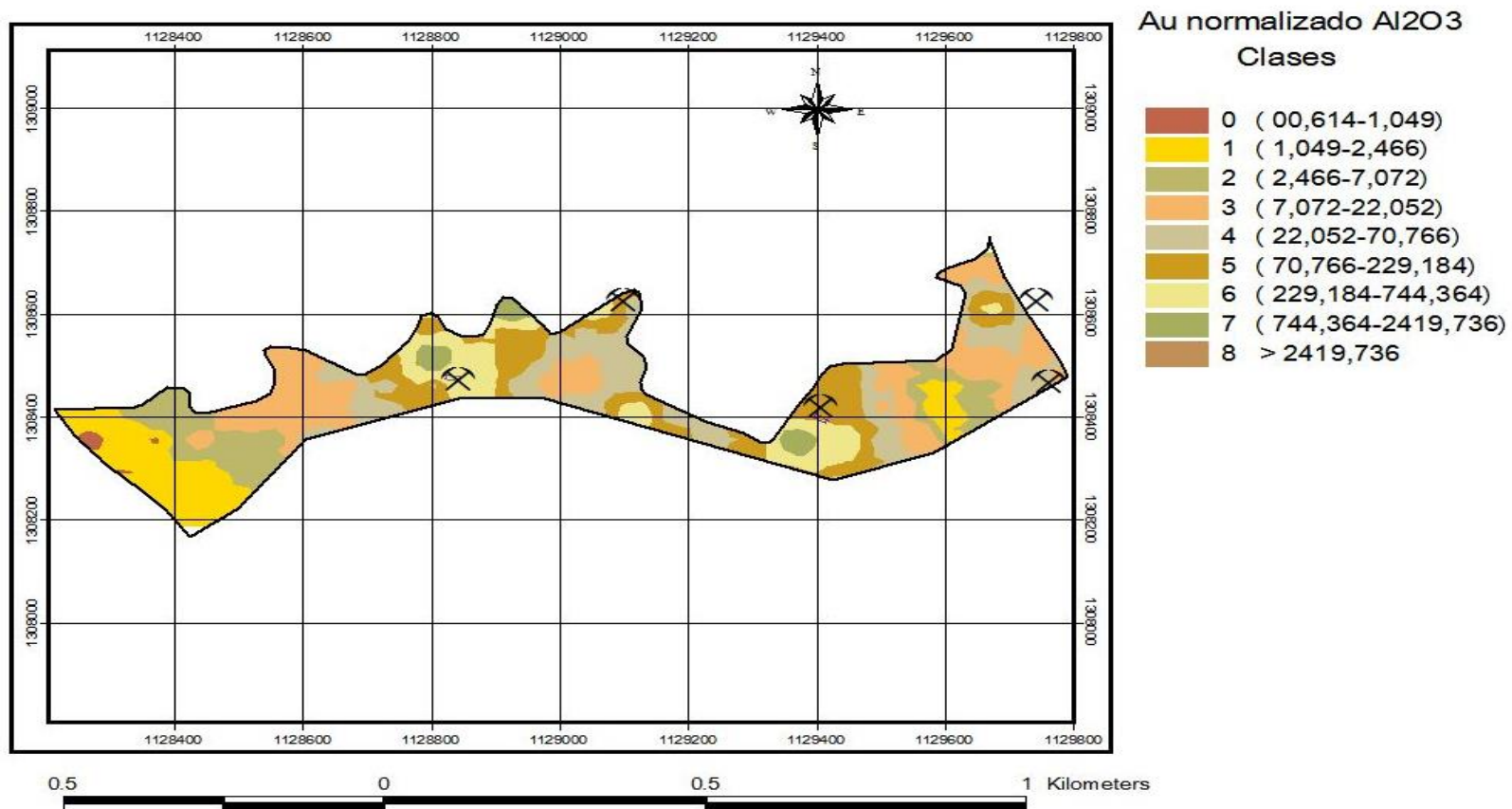


Figura 25: Mapa Geoquímico de la Relación Au normalizado a Al₂O₃.

La anomalía de oro se normalizó a Al₂O₃ para soslayar los problemas relacionados con la meteorización química heterogénea. Las concentraciones no normalizadas de Au y normalizada a Al₂O₃ producen una anomalía similar; lo cual vislumbra que la anomalía de los metales preciosos no son anomalías falsas positivas debido a la meteorización diferencial.

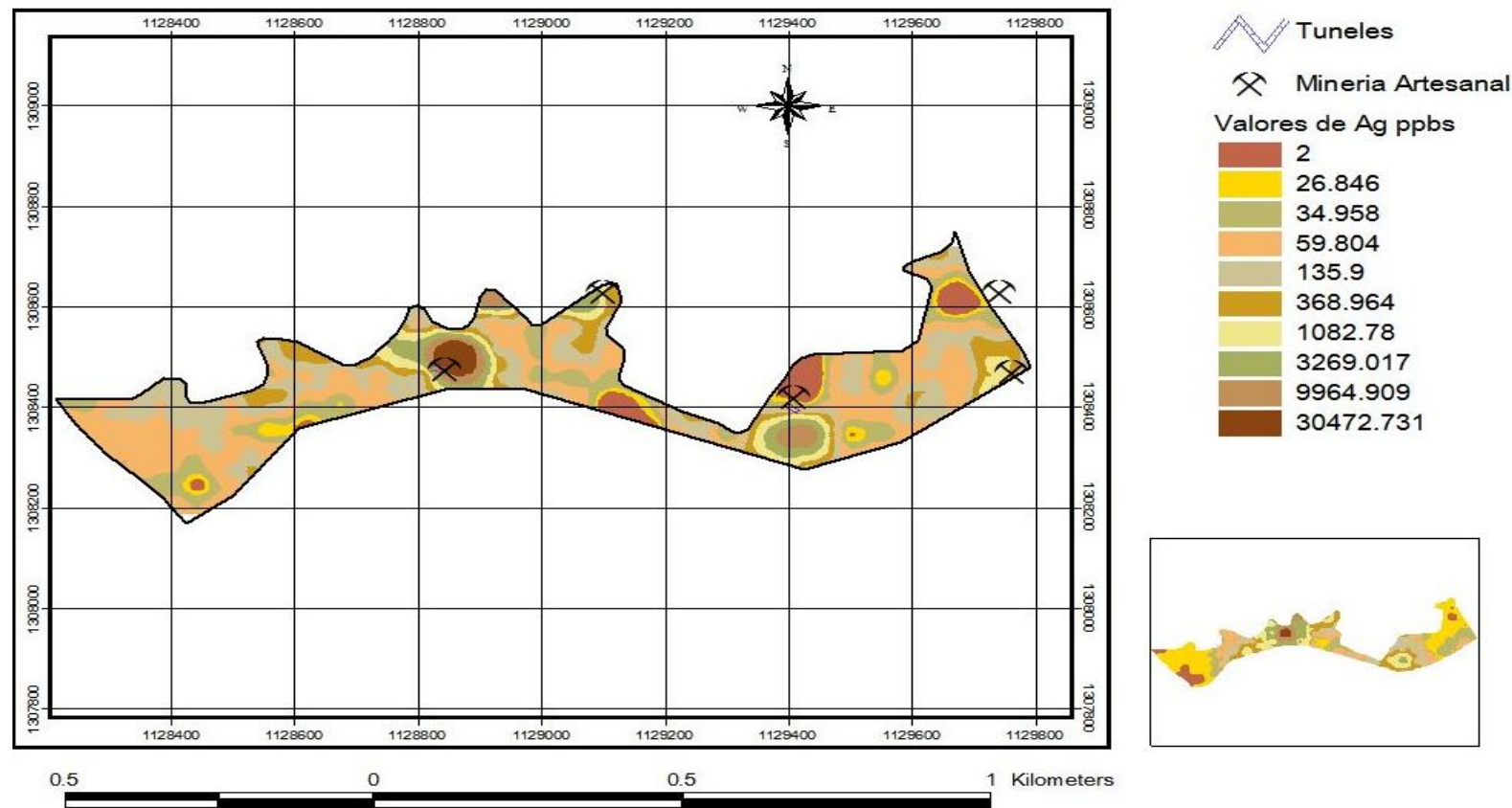


Figura 26: Mapa Geoquímico de la Concentración de Ag. Anomalías de oro sin normalizar en Al₂O₃.
 Las concentraciones no normalizadas producen anomalía en zonas de minería artesanal y otras nuevas que podrían despertar interés económico.

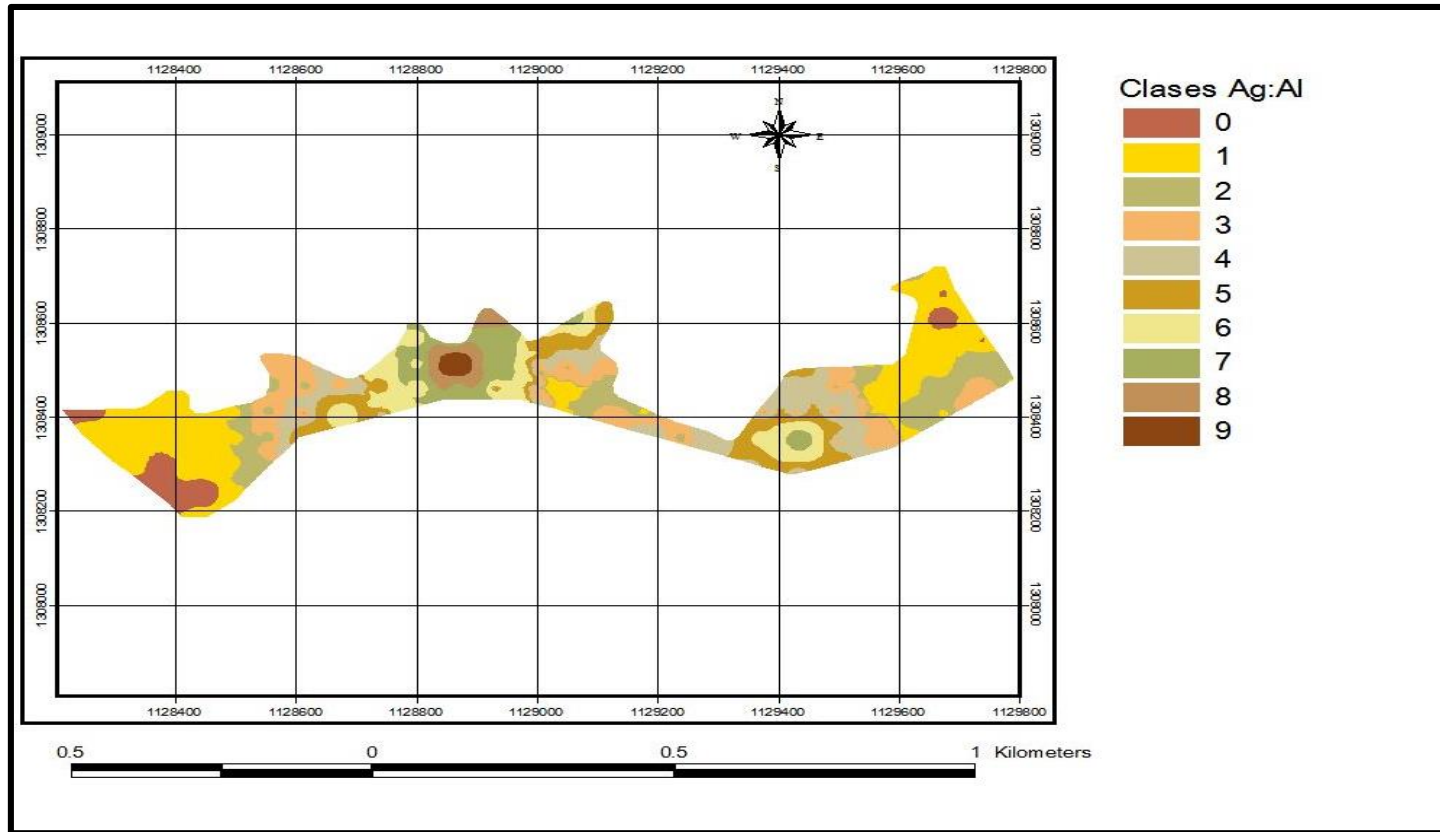


Figura 27: Mapa Geoquímico de la Relación Ag normalizado a Al_2O_3 .

La anomalía de oro se normalizó a Al_2O_3 para soslayar los problemas relacionados con la meteorización química heterogénea. Las concentraciones no normalizadas de Ag y normalizada a Al_2O_3 producen una anomalía similar; lo cual vislumbra que la anomalía de los metales preciosos no son anomalías falsas positivas debido a la meteorización diferencial.

4.5 ANOMALIAS MULTIELEMENTALES

Los datos geoquímicos son multivariados en forma opuesta a un comportamiento univariado, La geoquímica es una herramienta que provee información más confiable sobre los procesos geológicos cuando las anomalías geoquímicas se modelan como anomalías multielementales en lugar de anomalías monoelementales. Así, bajo condiciones climáticas extremas, algunos elementos pueden ser retenidos, mientras que otros elementos pueden removidos o concentrados. En consecuencia, modelar anomalías a partir de múltiples elementos permite sobrepasar problemas que pueden surgir a partir de fenómenos de movilidad local monoelemental y provee vectores más confiables para la localización de la mineralización.

En el proceso de modelar las anomalías multielementales, ha sido utilizado el método de sumas ponderadas (Garret y Grunsky, 2001). Este método es una técnica multivariante que reduce varios elementos a una sola variable. A cada elemento se le asigna un factor de importancia. Los factores positivos significan que un valor alto es significativo, y los factores negativos indican que un valor bajo es significativo. Para este trabajo, se ha asignado un factor positivo +1 a cada elemento objetivo y a los elementos guía (Au, Ag, As, S, Mo, Cu, Pb, Zn, Cd, Sb, Bi, Hg, Te, In, Sn y Se). Con el propósito de evitar posibles problemas de enriquecimiento elemental por efecto de procesos residuales en perfiles altamente intemperizados, se asigna un factor negativo de -3 a Al_2O_3 . De tal forma, las sumas ponderadas de datos multielementales son independientes a la meteorización diferencial.

El análisis de componentes principales permite discriminar grupos de elementos de que presentan una mayor sinergia geoquímica, así se observan los siguientes componentes principales i) In, Pb y Ag; ii) Se, Sn y Te; iii) Te, Hg, Zn, Cd, Mo, S, y Bi y un iv (de todos)). La correlación positiva entre los elementos guía (pathfinder) con los elementos objetivo Au y Ag corrobora que

las anomalías de los metales preciosos en Aposentos están relacionadas con procesos hidrotermales hipogénicos. Todos los elementos guía (pathfinder) forman anomalías geoquímicas que tienen la misma distribución espacial que las anomalías Au y Ag. (Ver figura 29). Los 16 elementos incluidos en el análisis estadístico muestran coeficientes de correlación que varían entre de 0.47 a 0,87 indica correlación moderada a fuerte.

Los resultados de las sumas ponderadas indican claramente que hay una anomalía geoquímica multielemental que comprende 16 elementos objetivo y elementos guía. La anomalía de 16 elementos coincide claramente con las anomalías monoelementales para el Au y la Ag. El modelo de sumas ponderadas confirma que las anomalías geoquímicas de interés económico son independientes de la meteorización. Por lo tanto, estas anomalías pueden interpretarse con confianza como la firma geoquímica de este sistema mineralizado.

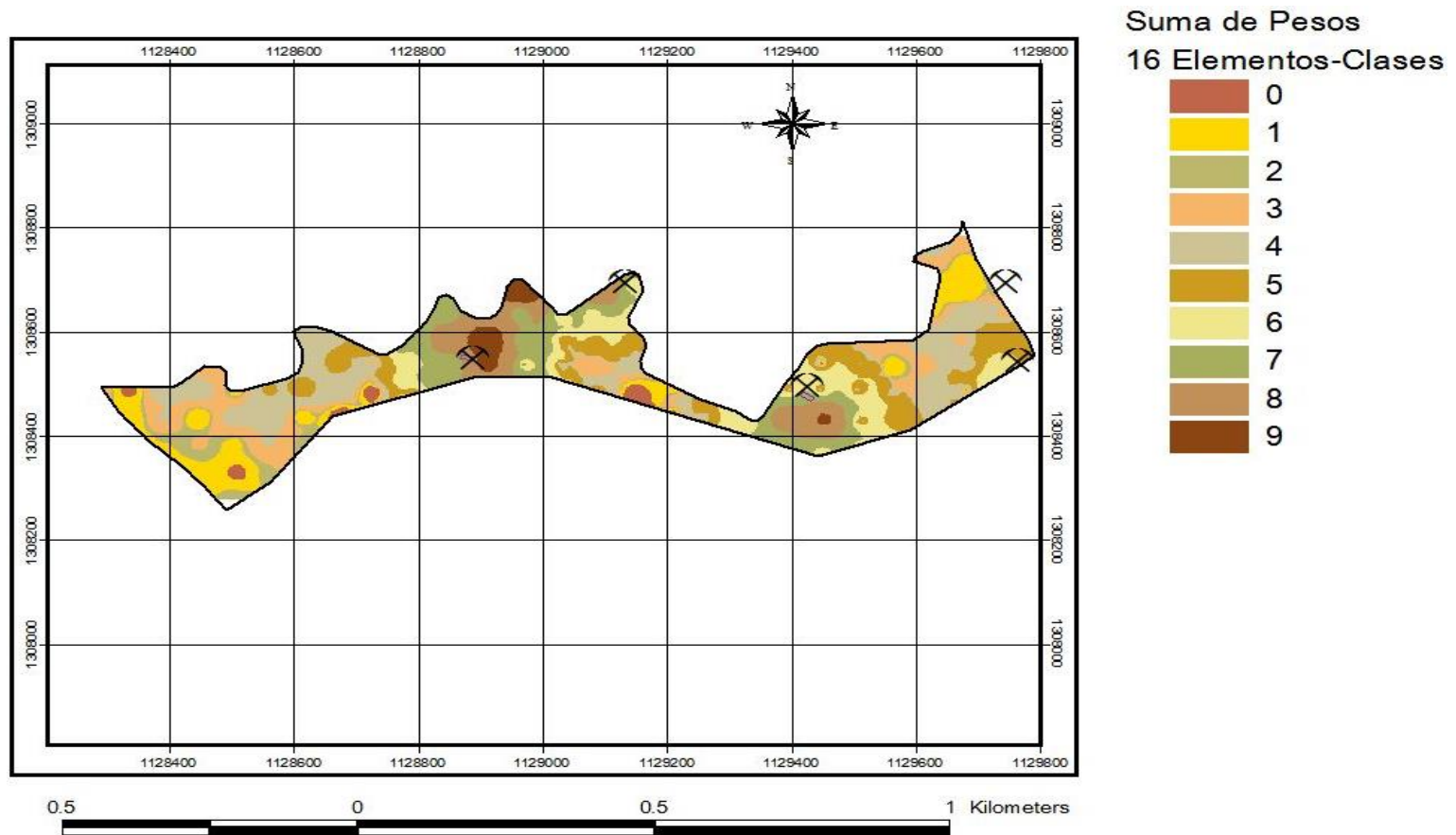


Figura 28: Mapa geoquímico de anomalías multielementales.

Mapa geoquímico de las sumas ponderadas para el grupo de 16 elementos: elementos objetivo y elementos guía (Au, Ag, As, S, Mo, Cu, Pb, Zn, Cd, Sb, Bi, Hg, Te, In, Sn y Se) y Al_2O_3 . Todos los elementos objetivo y elementos guía se les asignó un factor de importancia de +1. Al aluminio se le dio un factor de importancia de -3. (b) Ver Anomalías de Au como referencia. Hay una anomalía multielemental en la que 16 elementos objetivo y los elementos guía están relacionados con la mineralización de metales preciosos. La anomalía multielemental está asociada a las áreas de minería artesanal.

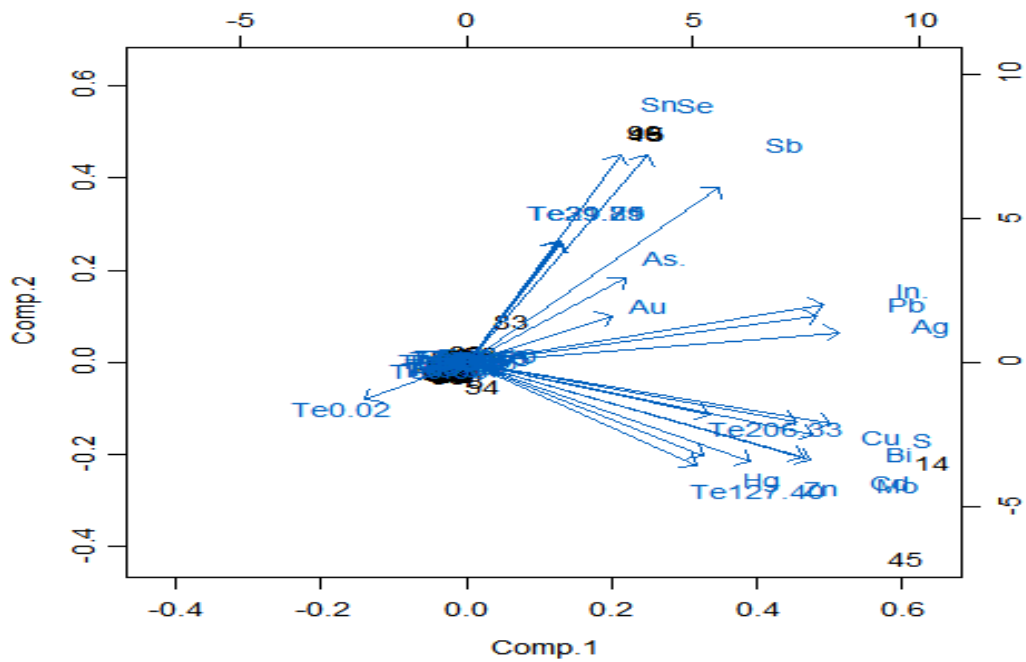


Figura 29: Análisis de componentes.

El análisis de componentes principales permite discriminar grupos de elementos de que presentan una mayor sinergia geoquímica, así se observan los siguientes componentes principales i) In, Pb y Ag; ii) Se, Sn y Te; iii) Te, Hg, Zn, Cd, Mo, S, y Bi y un iv (de todos).

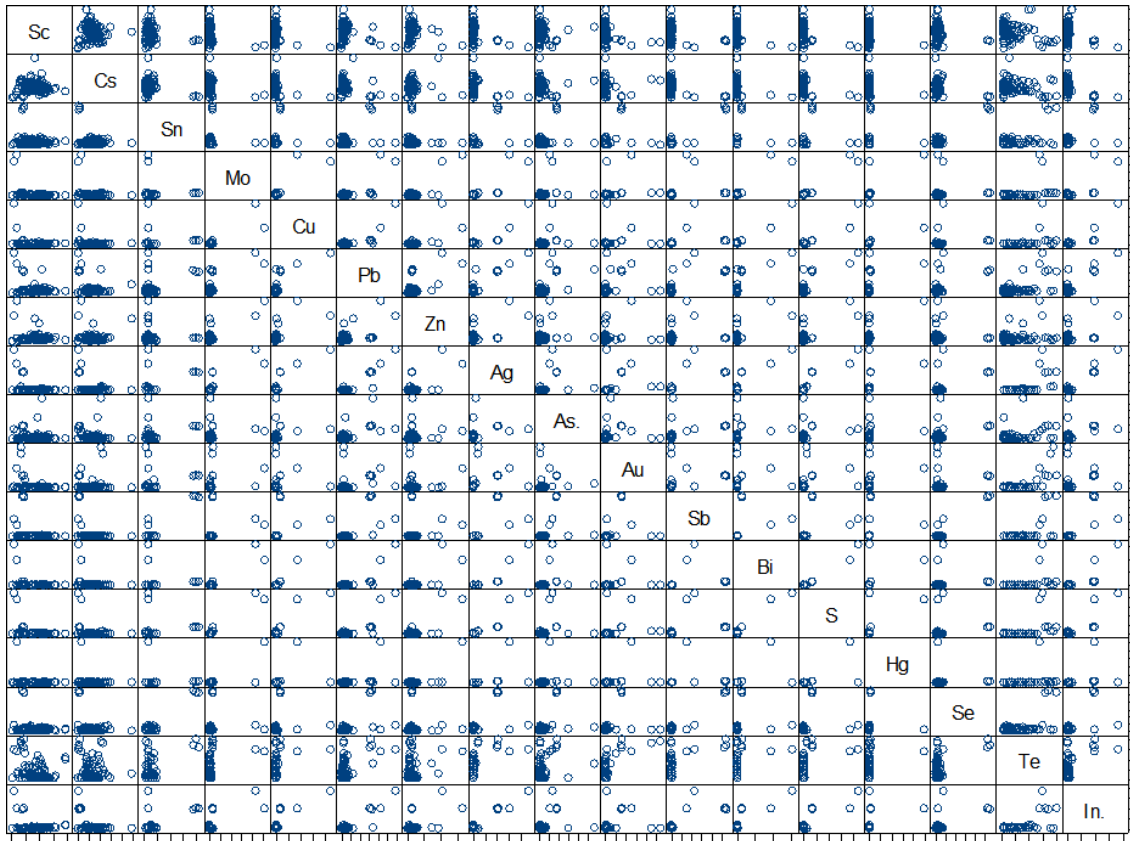


Figura 30: Matriz de correlación para elementos objetivo y elementos guía (pathfinder). Existe una correlación positiva general entre todos los elementos. Esto se interpreta para indicar un vínculo genético con la mineralización de metales preciosos.

4.6 ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

Uno de los principales desafíos de los proyectos de exploración en perfiles fuertemente desgastados en ambientes tropicales es que las características litológicas y mineralógicas primarias están completamente borradas por la intemperismo químico. En consecuencia, la identificación de campo de la alteración hidrotermal puede ser imposible. Los elementos relacionados con la alteración como Si, Na, K, Ca, Rb y Cs se remobilizan durante la intemperie extrema, lo que dificulta el reconocimiento de la alteración hidrotérmica del hipógeno primario en los perfiles alterados. Además, los elementos alcalinos (K₂O, Rb y Cs) y la sílice pueden enriquecerse

localmente durante la intemperie fuerte haciendo imposible la discriminación geoquímica entre la alteración hidrotermal primaria y el enriquecimiento de supergeno de elementos alcalinos y sílice.

Se ha realizado un cálculo de sumas ponderadas para SiO₂, K₂O, Rb y Cs con factores de importancia relativa de 2SiO₂:1K₂O:1Rb:1Cs. Los resultados de los cálculos de sumas ponderadas indican que hay una zona de enriquecimiento significativo de sílice y elementos alcalinos. No se puede descartar que el enriquecimiento de elementos alcalinos y sílice podría haber ocurrido durante la intemperie fuerte y, por lo tanto, no está relacionado con la mineralización primaria hipógena. Sin embargo, la siguiente evidencia sugiere que el elemento álcali y el enriquecimiento de sílice representan una alteración hidrotermal potásica-silíceica relictiva relacionada con la mineralización de metales preciosos: (1) la alteración está relacionada espacialmente con las zonas de minería artesanal de oro y plata, (2) existe una asociación espacial entre la alteración y las anomalías de múltiples elementos definidas por 16 elementos de objetivo y elementos guía, (3) la descripción del campo de los perfiles degradados indicaba que la presencia de stocks de relictos y vetas en muestras sobreimpresas por esta alteración, y (4) la concentración media de Au, Ag y elementos guía (pathfinder) muestra alteración potásico-silíceica, con 2 a 6 veces mayor que la concentración de los mismos elementos en contrapartes que no han sido sobreimpresas por esta. En consecuencia, se concluye que la mineralización de metales preciosos en Aposentos está contenida en el núcleo de una zona de alteración potásica-silíceica.

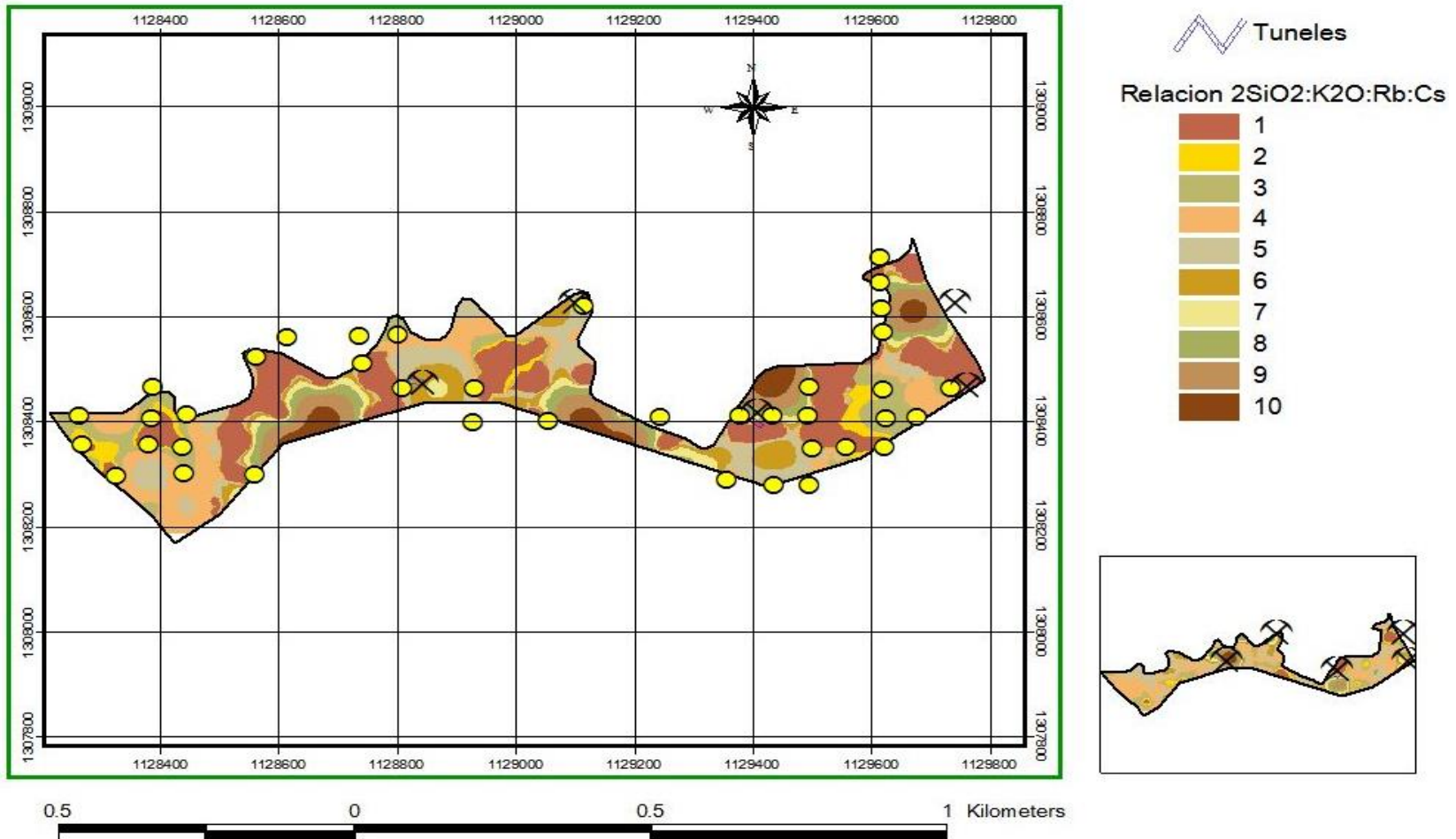


Figura 31: Sumas ponderadas calculadas para elementos alcalinos y sílice con factores de importancia relativa de 2SiO₂: 1K₂O: 1Rb: 1Cs. La alteración silícico-potásica relicta se preserva a nivel del perfil de suelos desarrollados en Aposentos independientemente del grado de intemperismo. Los puntos amarillos representan muestras con altas concentraciones de K₂O. El mapa representa Se establece una relación espacial con las Anomalías de oro. La zona de alteración silícico-potásica relicta está espacialmente relacionada con anomalías de metales preciosos y la minería artesanal.

4.7 MAGNETOMETRIA EN TERRENO

El levantamiento del terreno y los mapas de anomalías generadas presentan una buena resolución y una definición mejorada del objetivo estudiado y sus anomalías detectadas. También permite un mejor análisis y caracterización de los límites y la dirección preferencial de la anomalía. La Figura 32 muestra los puntos de medición de la susceptibilidad y las estaciones magnéticas adquiridos en el survey de escala de detalle junto con la ocurrencia y sus límites externos. La Figura 33 presenta el mapa de anomalías de campo magnético total (fuentes profundas), respectivamente.

Es importante notar que la mayor parte del área se encuentra cubierta por rocas erosionadas (cobertura del suelo), vegetación y algunas rocas de afloramiento (dioritas y gneises) cerca de las ocurrencias descritas de Au-Ag. Estas características geológicas de superficie y los contrastes magnéticos geofísicos detectados permitieron analizar, interpretar y delinear las estructuras inferidas presentadas en el mapa geológico interpretado, (Figura 34).

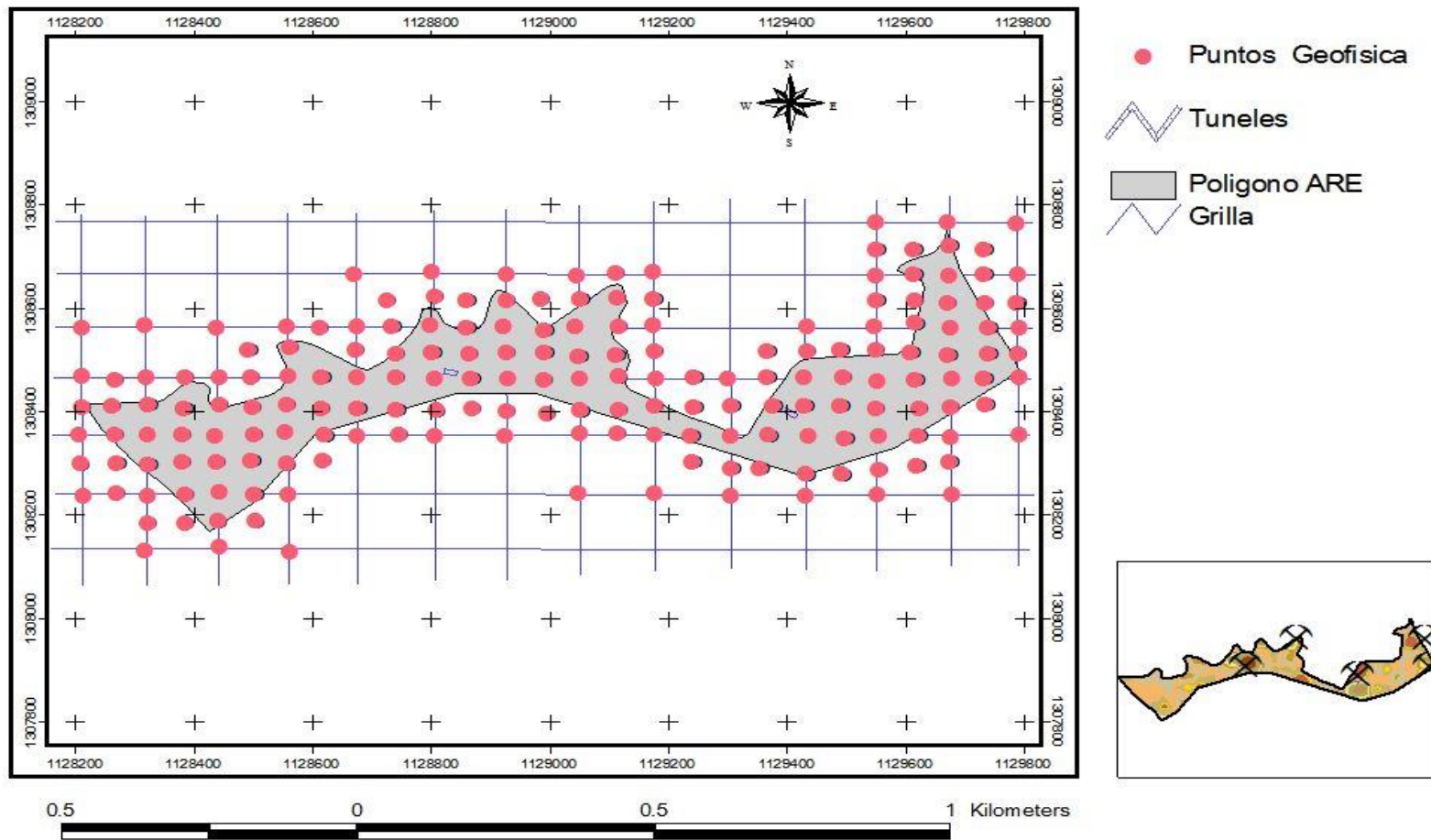


Figura 32: Mapa puntos de mediciones de susceptibilidad en el área y la ubicación de ocurrencia de cuerpos con sulfuros auro-argentíferos.

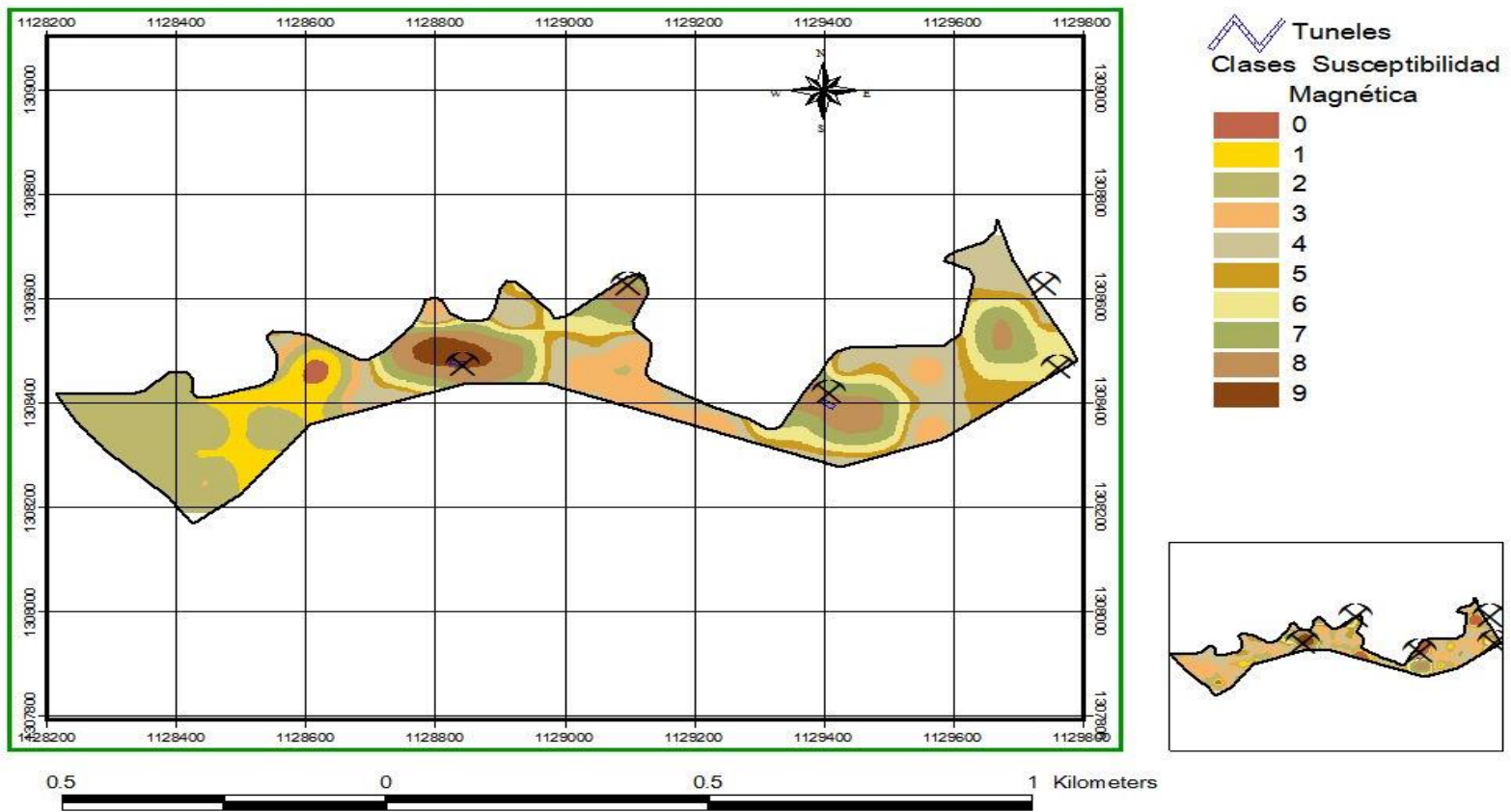


Figura 33: Mapa a partir de mediciones de susceptibilidad en el área y la ubicación de ocurrencia de cuerpos con sulfuros auro-argentíferos. Anomalía total del campo magnético (fuentes profundas).

Para lograr los objetivos del estudio, se generó un modelo litogeofísico avanzado (modelo 2.5D) utilizando adicionalmente como propiedades físicas detectadas (anomalía magnética en nT), la parametrización con las litologías realizadas por las mediciones de susceptibilidad de las rocas aflorantes. Sin embargo, al analizar los resultados, se debe considerar que el modelado directo se basa en datos de superficie geológica y parámetros físicos (susceptibilidad magnética). Por lo tanto, es importante considerar la presencia de magnetización remanente en el sitio, causando desviaciones e incongruencias en la geometría y las profundidades propuestas que se muestran en el modelo. Para eso, se pueden aplicar métodos especiales de procesamiento de datos, pero no estaban dentro del alcance de este estudio. Se reconoció en los datos y resultados adquiridos que las observaciones geofísicas, como el campo magnético observado inducido, las frecuencias espaciales residuales y profundas, respaldan la creación de un modelo físico / matemático coherente.

Además, es importante notar que los métodos de inversión que utilizan diferentes algoritmos y el software actualmente disponible no pueden expresar un modelo geológico confiable debido a la no singularidad. Tal enfoque no generó resultados consistentes considerando una no expresiva y la ausencia de datos de medición de susceptibilidad representativos en el área debido a la cobertura del suelo y la vegetación presentes en la mayor parte del área de estudio. Teniendo en cuenta que estos datos están mal aleatorizados espacialmente y se concentran solo donde los afloramientos rocosos (ocurrencia de cobre descrita) se puede generar un modelo más consistente y confiable aplicando información litológica y estructural de superficie directa de manera de producir un mapa geológico más preciso con estructuras inferidas. Estos ajustes e inferencias solo se pueden realizar siguiendo estrictamente las observaciones y características mapeadas en la superficie.

Considerando este contexto de mineralización, asociamos las anomalías magnéticas observadas a los gneises y cuerpos ígneos relacionados con la concentración de sulfuros auroargentíferos en estas estructuras, que están localizadas puntualmente. También consideramos que, en el modelo genético de pórfido para mineralizaciones, el enriquecimiento y las concentraciones de elementos Au y Ag están asociados con otros elementos y ocurre a través de venas y fracturas asociados con un stock porfirítico en un proceso hidrotermal predominante (Silitoe, 2010). Este stock, en su porción superior (halo de alteración), ofrece, a partir de las fracturas y restricciones estructurales, la concentración de sulfuros asociados con el Au que forma los depósitos apicales diseminados porfiríticos (Biondi, 2015). Tal configuración es una hipótesis considerando que las concentraciones (anomalías) observadas en las imágenes aéreas, los mapas terrestres y la respuesta del modelo se evidencian a lo largo de la dirección NW - SE en el sitio.

4.8 MODELO GEOLOGICO Y METALOGENICO

Durante el trabajo de campo realizado en julio de 2019, fueron identificadas varias zonas de cizalla dextrales dúctiles frágiles, sub-verticales, con tendencia NNW, que sobreimprimen la foliación metamórfica regional en gneis precámbricos y rocas plutónicas mesozoicas. Las relaciones estructurales indican que el cizallamiento y la falla regional transcurrente son posteriores al metamorfismo regional y la intrusión de rocas plutónicas en Aposentos. El cizallamiento dextral se relaciona muy probablemente con el estrés dirigido al este en un entorno transpresivo regional.

Para este cuerpo mineral el producto geoquímico los métodos producen las indicaciones más extensas de mineralización de sulfuros y los otros métodos de prospección dan la más precisa ubicación del mineral.

A lo largo de la sección, varias anomalías cientos de metros en dirección NNW asociadas a puntos de actividad minera artesanal. Casi en su totalidad el terreno se encuentra cubierto de una capa entre saprolito y regolito la cual cubre la mineralización presente dentro del área de trabajo. Se presentan fragmentos de venas de cuarzo de más de dos metros de espesor, en los recorridos realizados hasta ahora no se evidencia la presencia de gossan, pero los datos geofísicos y geoquímicos producen anomalías asociadas a los fragmentos de venas mineralizadas.

El contenido de Au en las muestras de suelo muestra áreas anómalas sobre áreas que se extienden sobre el cuerpo mineral oculto. La pregunta crítica sobre los datos del suelo es si la anomalía puede atribuirse únicamente a los minerales expuestos. Los datos geoquímicos ciertamente favorecerían la exploración en esta área; sin embargo, el área subyacente por el este, el cuerpo mineral forma solo una parte relativamente pequeña del total área cubierta por suelo rico en Aue, que presumiblemente podría considerarse favorable para la exploración sobre la base de los datos geoquímicos y la concurrencia de los resultados de susceptibilidad magnética.

Los datos magnéticos indicaron una fuerte anomalía de aproximadamente 70 metros de ancho sobre el cuerpo de mineral oculto, anomalías magnéticas 1 y 2. El ancho de cada anomalía bien podría indicar la presencia de un gran cuerpo magnético en profundidad, y sin duda proporciona una mejor guía para los cuerpos mineralizados en profundidad.

Las investigaciones en el ARE en busca de indicios de áreas potenciales con sulfuros auroargentíferos permitieron el uso de diferentes técnicas de prospección geológica, geofísica y

geoquímica. Los métodos geoquímicos son directos; una anomalía de Au en el suelo residual, sin duda, indica la presencia de Au. Sin duda con la ayuda de las técnicas analíticas, como el análisis ICP-OES, brindan la oportunidad de descubrir valiosas concentraciones de elementos raros que de lo contrario podría pasar desapercibido. Debido a que las anomalías geoquímicas son amplias, el muestreo pudo ser realizado a intervalos espaciados y esta área pudo ser investigada en un tiempo relativamente corto.

En contraste con los métodos geoquímicos, los geofísicos son indirecto; las anomalías geofísicas podrían indicar una concentración del mineral buscado o alguna otra roca con propiedades físicas similares, los resultados obtenidos en conjunto con los datos geoquímicos permitieron identificar propiedades de la mineralización en la roca sustrato.

Los datos geológicos son particularmente difíciles de evaluar, con relación al origen de la mineralización, guías de prospección geológica en el proyecto auroargentífero de Aposentos están lejos de ser perfectos. Las observaciones geológicas, sin embargo, favorecen una proponer un origen hidrotermal con fallamiento y bifurcaciones locales de las venas. En terreno se observó una falla local que detuvo el avance de los trabajos en el túnel El Laurel. Este fallamiento explica en gran parte por qué el cuerpo se desapareció a la vista de los mineros y proporciona alguna justificación para explorar en busca de cuerpos ocultos similares en otros lugares.

La relación genética entre la tectónica transcurrente dextral, el plutonismo calco-alcalino y la mineralización de metales preciosos en Aposentos no está bien establecida aún. El mapeo geoquímico indica que existe una relación espacial entre las dioritas y la mineralización. Las anomalías multielementales relacionadas con metales preciosos más prominentes siguen a un contacto diorita (Fig 34). Esta relación espacial sugiere dos posibles interpretaciones para el origen de la mineralización de metales preciosos en Aposentos.

En primera instancia, se propone que la mineralización de metales preciosos en Aposentos ocurrió durante la evolución magmática de la etapa tardía del complejo plutónico intermedio a félsico. En consecuencia, la mineralización de metales preciosos podría ser el resultado de la circulación hidrotermal a alta temperatura alrededor de las intrusiones dioríticas durante la etapa de enfriamiento del conjunto plutónico principal. Los depósitos de oro diseminados relacionados con intrusiones se alojan comúnmente en fracturas rellenas, diques y zonas fracturadas que representan fases magmáticas relacionadas durante la evolución de los plutones mucho más grandes. Es de destacar que el cuerpo principal de diorita en Aposentos tiene una tendencia nortesur casi lineal que corta directamente a través de una topografía muy empinada. Además, el margen occidental de la diorita sigue localmente los contornos topográficos (Fig. 34). Estas relaciones de contacto, siguiendo la regla de "V" s, indican que la diorita representa un dique casi vertical a escala kilométrica que se inclina abruptamente hacia el este. La interpretación de la inclinación hacia el este sugiere que las anomalías geoquímicas multielementales al este de la diorita están estratigráficamente por encima de la intrusión. Por lo tanto, las anomalías de elementos múltiples y la alteración potásico-silíceas asociada podrían estar relacionadas con un sistema hidrotermal inducido por la intrusión de las dioritas.

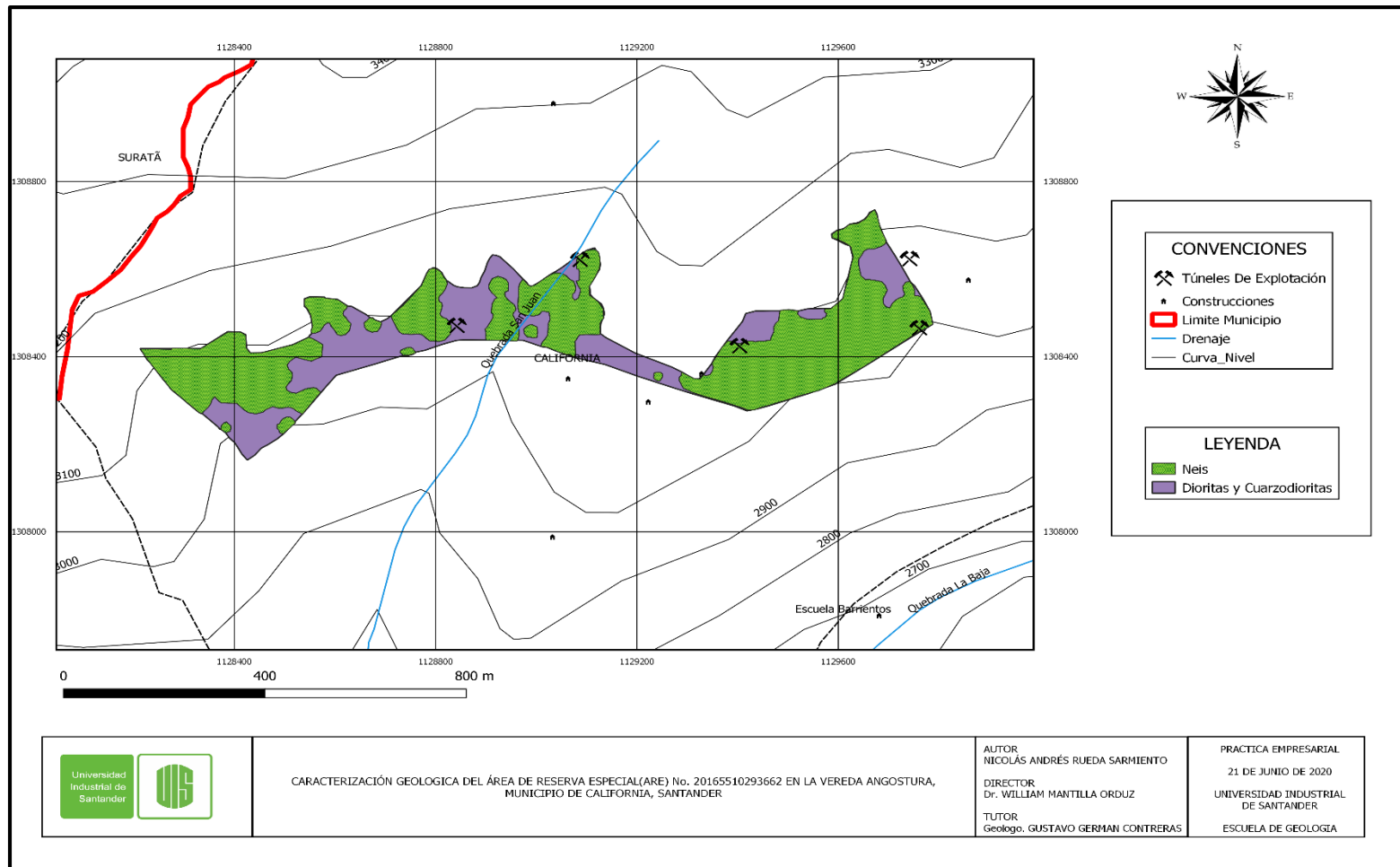


Figura 34: Mapa litogeoquímico.

Asociado a este las anomalías de elementos múltiples más prominentes siguen a la diorita a lo largo de su contacto intrusivo y en zonas de actividad minera artesanal. En el noreste, hacia el sur, otro cuerpo de diorita también exhibe una relación espacial con la anomalía de elementos múltiples. Las dioritas y las cuarzodioritas han sido discriminadas usando litogeoquímica. La unidad gneissica ha sido mapeada en base a observaciones de campo durante una encuesta de orientación realizada por Mantilla, W. (2019) Las anomalías de elementos múltiples se estimaron utilizando la técnica de sumas ponderadas para 16 elementos objetivo y elementos guía (pathfinder), incluidos Au, Ag, As, S, Mo, Cu, Pb, Zn, Cd, Sb, Bi, Hg, Te, In, Sn y Se.

En segundo lugar, es digno de mención que la mineralización de oro en Aposentos sigue el contacto entre los gneis y las rocas plutónicas en Aposentos. Dos anomalías al este y sudoeste también corren subparalelas el contacto entre las rocas plutónicas y los gneis. Estas relaciones estructurales sugieren que la mineralización de metales preciosos en Aposentos se localiza preferentemente alrededor de contactos litológicos. Durante la tectónica regional transcurrente, los contactos litológicos se comportan como zonas de máximo contraste reológico a lo largo de las cuales se localiza preferentemente la deformación, el flujo de fluidos y la mineralización. En consecuencia, la mineralización puede ser posterior a la intrusión de la diorita y podría haberse formado durante el cizallamiento dextral regional debido a la reactivación de los contactos litológicos. En esta interpretación alternativa, la mineralización de oro y plata en Aposentos representa un sistema mineral de metales preciosos orogénicos. Los depósitos de oro orogénico se forman durante la deformación de las rocas metamórficas y volcáno-plutónicas, se localizan en diferentes niveles de la corteza y se pueden alojar en varias litologías que han estado sometidas a una deformación dúctil y frágil durante los principales episodios de retrabajamiento tectónico.

Sin lugar a duda las evidencias de campo son poco densas, por tanto, es difícil formular con precisión el modelo genético para la mineralización en Aposentos y los dos modelos descritos anteriormente son probables. Sin embargo, la falta de trabajo estructural detallado deja sin resolver el momento de la deformación en relación con la mineralización.

Independientemente del origen genético de la mineralización, existe una conexión clara entre los contactos litológicos y la mineralización. Es necesario tener en cuenta estas relaciones espaciales durante los estudios geofísicos a escala de distrito, dado que las diferencias en las propiedades magnéticas localizarán las estructuras geológicas y los contactos litológicos; cuales son las zonas con mayor potencial mineral.

Las características geométricas de las anomalías monoelementales y multielementales sugieren la presencia de cuerpos alargados de 200 a 600 m a lo largo de la cuelga. Estas anomalías probablemente representan sistemas de venas y fracturas rellenas ricas en oro y plata. Los cuerpos elongados están bien indicados por: (1) anomalías de tendencia NNW después del contacto diorita alrededor. Además de las anomalías oblongas, hay anomalías que ocurren en áreas más grandes y pueden indicar mineralización diseminada.

Hay dos zonas grandes, de 150 a 200 m de diámetro, hacia el margen central y oriental del área de muestreo. Estas zonas muestran una firma geoquímica que indica altas concentraciones de fondo para Au-As-Ag y una fuerte alteración de potasio-silicio. Estas zonas se bifurcan hacia el este y pueden representar la débil respuesta geoquímica de un sistema profundo y expuesto moderadamente con mineralización de metales preciosos alojada en vetas.

Dado que las técnicas de prospección geológica, geofísica y geoquímica cada uno tienen ventajas características, es casi evidente que los mejores resultados para depósitos como este, no se pueden obtener mediante el uso de una técnica en particular, sino mediante el uso de los tres en combinación, aparte de un estudio estructural detallado.

La coordinación de diferentes técnicas de prospección puede ser de considerable importancia para programas de prospección sistemática. Comúnmente, la técnica de reconocimiento se utiliza para cubrir toda el área que se está siendo explorada y para descartar partes de ella que no presenten potencial productivo. En esta fase siguiente se podrán utilizar técnicas de detalle sobre los objetivos de exploración identificados.

5. CONCLUSIONES

- El área de muestreo se encuentra en un régimen de forma de zonas erodadas dominado principalmente por el saprolito residual fuertemente erosionado.
- Los datos de campo y geoquímicos indican la aparición de gneises y una suite plutónica intermedia a félsica. La suite plutónica es una intrusión compuesta de dioritas y dioritas de cuarzo.
- Durante la fuerte meteorización, la concentración de la mayoría de los elementos objetivo y elementos guía se enriqueció residualmente. Estos elementos incluyen Au, Ag, As, S, Mo, Cu, Pb, Zn, Cd, Sb, Bi, Hg, Te, In, Sn y Se.
- Hay varias anomalías geoquímicas de un elemento y multielemento. Estas anomalías están relacionadas espacialmente con las actividades mineras artesanales locales en Aposentos.
- Una evaluación cuidadosa de las anomalías geoquímicas contra el intemperismo indica que las anomalías de los metales preciosos no son anomalías positivas falsas debido al enriquecimiento residual de Au y Ag durante el proceso de Intemperismo. Las anomalías normalizadas con aluminio son similares a las contrapartes no normalizadas que indican que las anomalías reflejan la mineralización primaria hipógena.
- La concentración anómala de SiO_2 , K_2O , Cs y Rb sugiere la presencia de una alteración hidrotermal potásica y silíceo relictos. La silicificación y el enriquecimiento de elementos alcalinos (K, Rb y Cs) son procesos metasomáticos comunes asociados espacialmente con la mineralización del oro.
- La alteración de los elementos potásicos-silíceos relictos (Se refiere a algo que ha sobrevivido de un periodo anterior o de forma primitiva) se asocia espacialmente con

anomalías en los elementos de objetivo y elementos guía. Las muestras sobreimpresas por la alteración potásico-silícica se enriquecen sistemáticamente en los elementos de objetivo y elementos guía, en relación con aquellos que no se ven afectados por esta alteración hidrotermal.

- El mapeo litogeoquímico y geológico indica que las anomalías geoquímicas están relacionadas espacialmente con los contactos litológicos. Las anomalías geoquímicas ocurren alrededor de un dique de dioritas a escala de kilómetro y alrededor del contacto entre gneisses y dioritas de cuarzo.
- El modelo genético de la mineralización en Aposentos sigue siendo controvertido dada a las restricciones geológicas de campo. Un trabajo estructural detallado resolverá este problema.
- El estudio geofísico de campo proporciona nueva información sobre la relación entre las anomalías geoquímicas de la superficie y la mineralización potencial en profundidad. El estudio geofísico ayudará a planificar mejor las ubicaciones de los trabajos y sus orientaciones óptimas.

6. RECOMENDACIONES

Las siguientes recomendaciones están dirigidas a ampliar las áreas de exploración, identificar nuevas anomalías geoquímicas y probar las anomalías geoquímicas para la mineralización:

- La cuadrícula de muestreo geoquímico debe extenderse hacia el este, el sur y el norte. Con el inconveniente de la extensión y forma del ARE.
- Es necesario realizar un estudio detallado de geología estructural de campo en áreas alrededor de Aposentos para restringir mejor el modelo de mineralización. Un estudio estructural apropiado (de tres a cuatro semanas) en torno a los afloramientos de buena calidad expuestos al oeste de la red de muestreo proporcionará la información adicional necesaria.
- Es prudente, desarrollar el estudio estructural a detalle previo a recomendar sitios específicos de ampliación de la exploración detallada y desarrollo minero.

El mapeo geológico y estructural debe llevarse a cabo en las minas subterráneas disponibles para comprender los mecanismos y el momento de la mineralización.

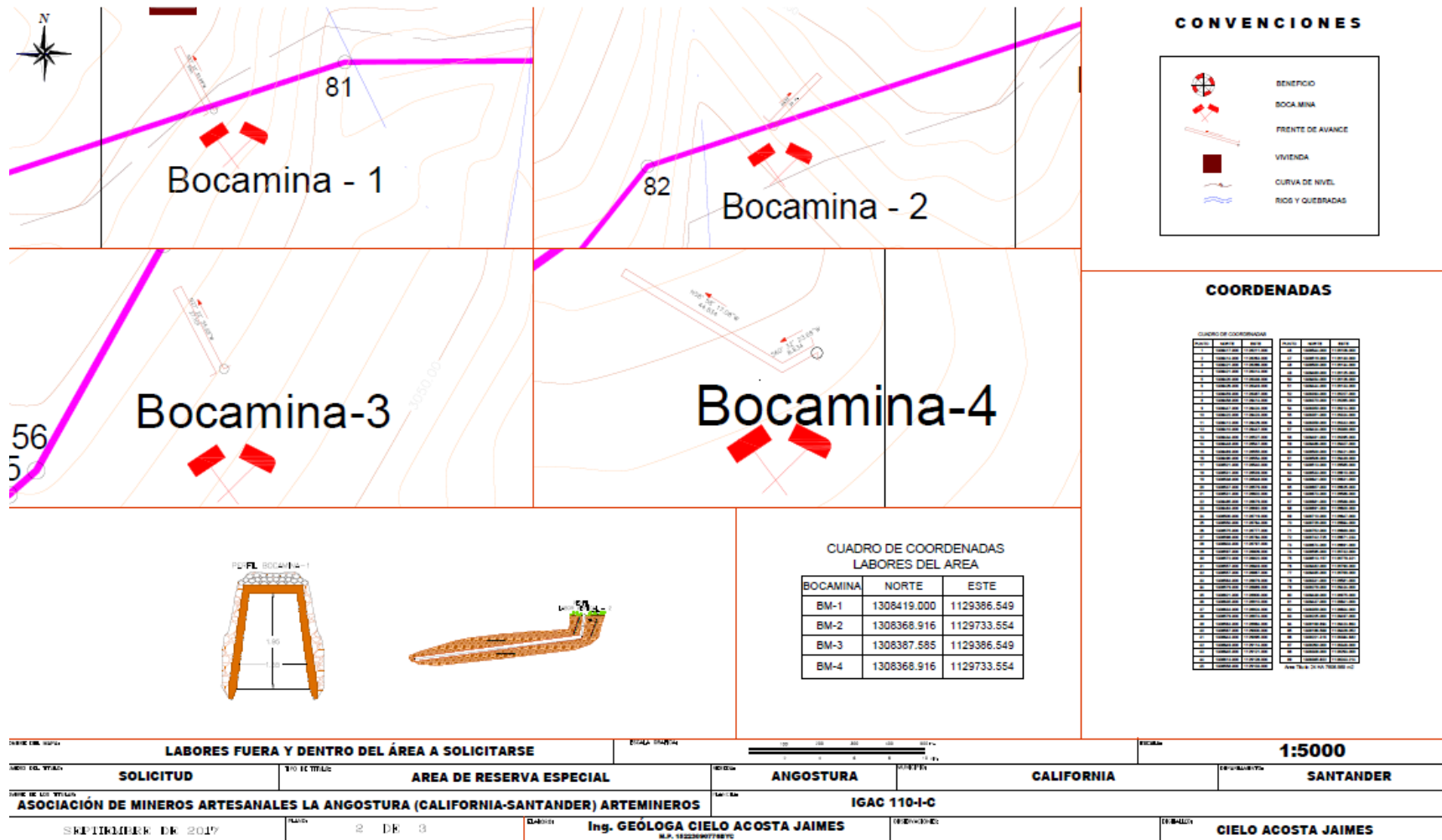


Figura 35: Planos topográficos de las diferentes Bocaminas existentes en el Proyecto, año 2017.

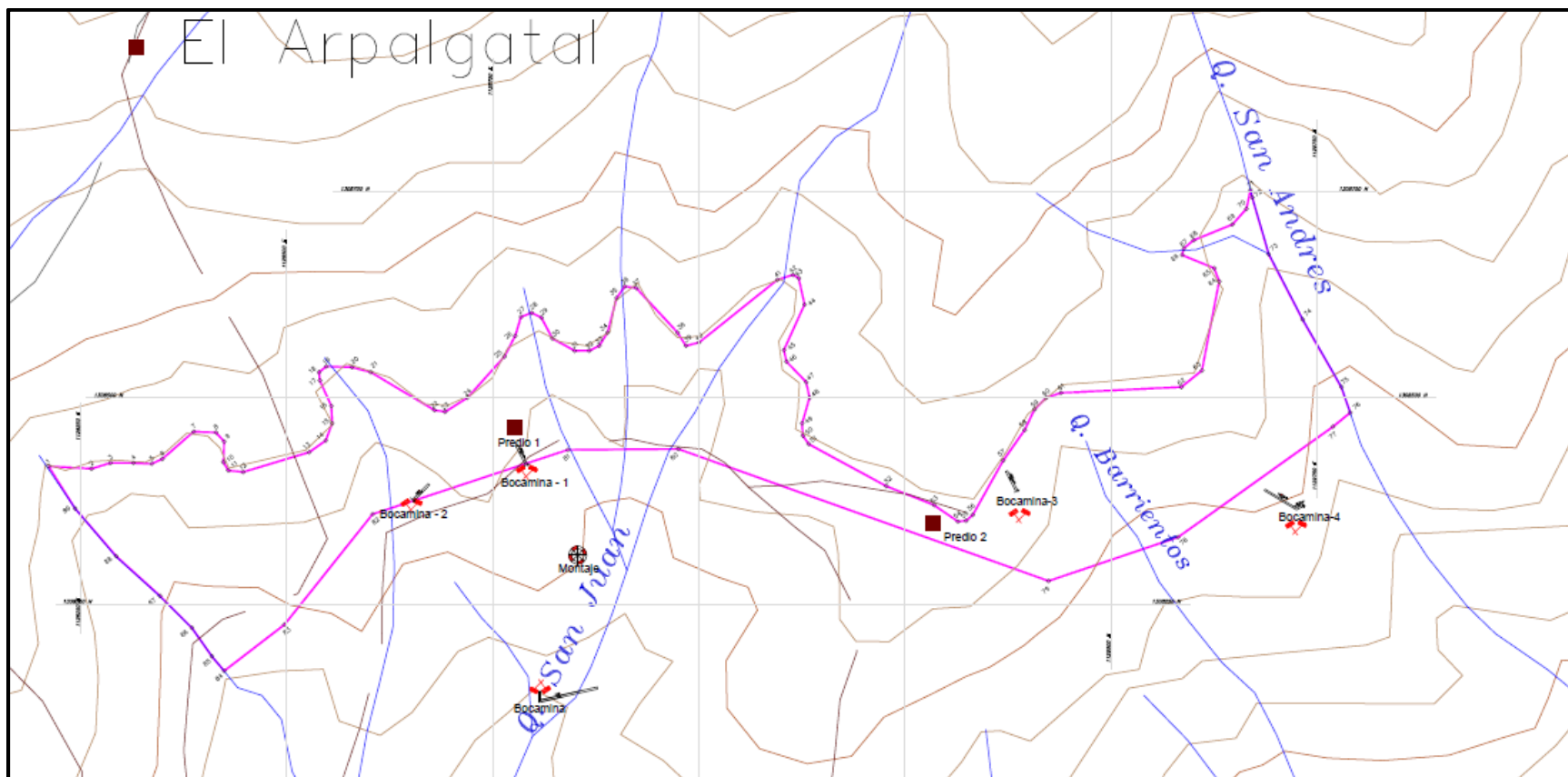


Figura 36: Ubicación de las Bocaminas respecto al área existentes en el momento de la realización de los planos topográficos.

7. BIBLIOGRAFIA

BUENO, Jesús. Yacimientos de Uranio y Otros Metales en la Región de La Baja. *Boletín Geológico INGEOMINAS*. 1955, volumen 3, nro. 3: 1-6.

CARVAJAL, Luis Carlos y RODRIGUEZ, Edgar. Prospección Geofísica y Geoquímica en la Región de California (Santander). *Geología Colombiana*. Bogotá D.C. *Universidad Nacional de Colombia*. 1975, (9): 9-49.

CONTRERAS FERNANDEZ, Gustavo Germán. Contextualización Geológica de la Brecha Hidrotermal Auroargentífera en Inmediaciones de la Mina La Baja (Distrito Minero de California-Vetas, Santander). Tesis de Grado (Geólogo). Bucaramanga. *Universidad Industrial de Santander*. Escuela de Geología. 2010.

COX, Kein Gordon, *et al.* The Interpretation of Igneous Rocks. *Allen and Unwin*. London. 1979, 450 p.

GARRET, Robert y GRUNSKY, Eric. Weighted sums—knowledge based empirical indices for use in exploration geochemistry. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. 2001, nro. 1, 135-141.

GOLDSMITH, Richard, *et al.* Radiometric Ages in the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. *Prepare don Behalf of the A.I.D., U.S.G.S and the Government of Colombia*. 1971.

GUERRERO ARIAS, Margareth y DIAZ SALAZAR, Lissette. Asociaciones Mineralógicas de las Menas Auroargentíferas y su Distribución Espacial en el Yacimiento Angostura (California, Santander). Tesis de Grado (Geólogo). Bucaramanga. *Universidad Industrial de Santander*. Escuela de Geología. 2006.

HERNANDEZ CORZO, Carlos Andrés. Prospección Detallada del Yacimiento Cobre Porfirico, Licencia Callejón Blanco, Distrito Minero de California, Santander. Tesis de Grado (Geólogo). Bucaramanga. *Universidad Industrial de Santander*. Escuela de Geología. 2012.

MANTILLA, Luis Carlos. Geocronología U-Pb de los Cuerpos Porfiríticos del Distrito Auroargentífero de Vetas-California (Departamento de Santander, Colombia). Boletín de Geología. Bucaramanga. *Universidad Industrial de Santander*. 2009, (31), No 1: 31-43.

MANTILLA, William. Field Scouting Evaluation for a gold exploration geochemical and geophysical survey: Aposentos-Angostura project area, California, Santander Department, Colombia, *in-house report*. 2009, 37 p.

MENDOZA, Hernando y JARAMILLO, Luis. Geología y Geoquímica del Área de California, Santander. *Boletín Geológico INGEOMINAS*. 1979, volumen 22, nro. 22.

PAGNACCO, P. F. Estudio Mineralógico del Filón Uranífero San Celestino. Geología Colombiana. Bogotá. *Universidad Nacional de Colombia*. 1962, (1): 45-54.

ROYERO, José María, CLAVIJO, Jairo. Mapa Geológico Generalizado Departamento de Santander, Memoria Explicativa. *Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear INGEOMINAS*. 2001.

WARD, D.E *et al.* Inventario Minero Zona III Santanderes. *Recursos Minerales INGEOMINAS*. 1971.

WARD, D.E *et al.* Geología de los Cuadrángulos H12 y H13. *Boletín Geológico INGEOMINAS*. 1973, volumen 23, No. 1-3.

WILSON, Marjorie. *Igneous Petrogenesis: A Global Tectonic Approach*. Dordrecht Springer. 1989, 466p.

ANEXOS

INFORME DE ENSAYO
GQ1900570

A solicitud de:	DANNY ALIRIO VILLAMIZAR MENESES	Cantidad Muestras:	9
Cra 27 # 36-14 of 406		Fecha de Recepción:	06/08/2019
Por cuenta de:	DANNY ALIRIO VILLAMIZAR MENESES	Producto:	Exploration Sample
Cra 27 # 36-14 of 406		Tipo de Análisis:	PREPARACION Y ANALISIS QUIMICO
Localidad de preparación:	MEDELLIN	Fecha de Ensayo:	Del 06/08/2019
Condición de la Muestra:	En bolsas de plástico selladas Granulometría de 1 a 2 pulg y Húmedas.	Al 12/08/2019	
Referencia Cliente: Notas:	California		

Esquema	Método
	MIN-LG-P-001 /Marzo 2014 Rev.02 / Preparación de Muestras Geológicas (Secado <1Kg, Triturado a Malla N° 10
FAA515	>90%, Dividido a 250g, Pulverizado a Malla N° 140 >95%)
ICM90A	SGS-MIN-LG-ME-002 / Agosto 2012 Rev.00 / Determinación de Oro en Muestras Geológicas - 50g por Ensayos al Fuego con Cuantificación AAS

Elemento	Au	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca
Esquema	FAA515	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A
Unidad	ppb	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%
Limite de Detección	5	1	0.01	30	0.5	5	0.1	0.01
M 38	154	<1	3.81	84	1162.9	<5	0.2	0.14
M 32	462	<1	3.80	35	974.3	<5	0.1	0.78
M 35	146	<1	3.11	88	558.7	<5	<0.1	0.11
M 36	248	1	3.75	94	801.1	<5	<0.1	0.12
M 64	160	<1	2.90	35	246.5	<5	<0.1	1.16
M 29	14	1	3.15	38	409.4	<5	<0.1	0.32
M 67	<5	<1	3.25	<30	151.0	<5	<0.1	0.17
M 37	<5	<1	2.75	<30	648.4	<5	<0.1	0.07
M 01	<5	1	3.97	<30	97.9	<5	<0.1	0.18
*DUP M 36	239	<1	3.44	89	737.1	<5	<0.1	0.12

Elemento	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er
Esquema	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A
Unidad	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Limite de Detección	0.2	0.1	0.5	10	0.1	5	0.05	0.05
M 38	3.0	4.6	1.9	123	1.0	22	0.45	0.24
M 32	11.2	16.1	7.6	153	2.0	50	0.79	0.33
M 35	1.4	3.7	4.7	101	1.5	38	0.62	0.28
M 36	6.3	26.0	3.0	135	1.6	77	1.24	0.53
M 64	0.5	0.6	1.9	166	3.0	73	0.62	0.46

Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de SGS Colombia S.A.S.
El informe de ensayo sólo es válido para la muestra del prototipo o del lote sometido a análisis, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Este documento es emitido por la Compañía bajo las Condiciones Generales de Servicio, y pueden encontrarse en la página http://www.sgs.com/terms_and_conditions.htm Su aplicación se extiende al límite de la responsabilidad, indemnización y jurisdicción definidas en ella.



INFORME DE ENSAYO GQ1900570

Página 89 de 4

Se informa a cualquier persona que tenga en su poder este documento, que el contenido del mismo, refleja los hallazgos de la Compañía solo al momento de su intervención y dentro de los límites de las instrucciones del Cliente, si hubiera alguna. La Compañía es únicamente responsable ante su Cliente y este documento no exime a las partes de una transacción de ejercer todos sus derechos y obligaciones en virtud de los documentos de la transacción.

Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados al máximo del alcance de la ley.

No obstante lo estipulado en la Cláusula 8 de las Condiciones Generales de Servicio de SGS, todos los conflictos que se originen en, o que tengan relación con las Relaciones Contractuales reguladas por este contrato, se regirán y serán interpretadas de acuerdo con las leyes sustantivas de Colombia, excluyendo cualquier disposición legal con respecto a los conflictos de leyes y se resolverán finalmente de acuerdo al Reglamento del Centro de Arbitraje Nacional e Internacional de la Cámara de Comercio de Colombia, por uno o más árbitros designados de acuerdo con tales reglas. El arbitraje tendrá lugar en Bogotá (Colombia) y será en el idioma español.

Las quejas, apelaciones o consultas sobre la validez de este Certificado y/o Informe de Ensayo podrá ser enviado al correo: Co.LabGeoMed@sgs.com.co, co.servicioalcliente@sgs.com o comunicarse a los

INFORME DE ENSAYO GQ1900570

Elemento	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er
Esquema	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A
Unidad	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Límite de Detección	0.2	0.1	0.5	10	0.1	5	0.05	0.05
M 29	0.8	16.5	3.0	134	0.3	29	0.98	0.58
M 67	<0.2	4.1	3.7	124	0.4	11	0.87	0.37
M 37	0.5	5.6	5.1	103	2.6	7	0.77	0.65
M 01	0.2	6.6	7.3	117	1.7	28	2.23	1.46
*DUP M 36	5.9	25.5	2.9	149	1.4	66	1.33	0.58

Elemento	Eu	Fe	Ga	Gd	Ge	Hf	Ho	In
Esquema	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A
Unidad	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Límite de Detección	0.05	0.01	1	0.05	1	1	0.05	0.2
M 38	0.18	1.82	13	0.51	10	4	0.06	<0.2
M 32	0.33	2.70	14	1.58	9	3	0.14	<0.2
M 35	0.17	2.61	9	0.62	9	2	0.11	<0.2
M 36	0.42	2.62	13	2.15	12	3	0.24	<0.2
M 64	0.08	4.44	17	0.38	7	2	0.15	<0.2
M 29	0.23	1.67	15	1.16	8	4	0.20	<0.2
M 67	0.14	1.73	6	0.55	1	1	0.14	<0.2
M 37	0.14	1.48	18	0.63	2	4	0.19	<0.2
M 01	0.27	3.50	14	1.36	1	3	0.54	<0.2
*DUP M 36	0.34	2.42	12	2.20	10	3	0.25	<0.2

Elemento	K	La	Li	Lu	Mg	Mn	Mo	Nb
Esquema	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A
Unidad	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm
Límite de Detección	0.01	0.1	10	0.05	0.01	10	2	1
M 38	1.51	<0.1	57	<0.05	0.13	217	14	28
M 32	1.77	5.8	58	0.07	0.17	368	21	25
M 35	1.73	0.4	34	0.06	0.18	973	7	<1
M 36	3.10	12.9	21	0.07	0.15	109	28	24
M 64	3.12	0.3	15	0.07	0.38	154	9	21
M 29	1.55	7.5	50	0.11	0.05	189	18	33
M 67	0.94	9.9	16	0.07	0.08	372	26	<1
M 37	6.16	4.4	<10	0.12	0.13	972	15	26
M 01	1.48	11.4	42	0.22	0.25	1341	22	6
*DUP M 36	2.88	14.2	19	0.10	0.13	101	32	25

Elemento	Nd	Ni	P	Pb	Pr	Rb	Sb	Sc
Esquema	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A
Unidad	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Límite de Detección	0.1	5	0.01	5	0.05	0.2	0.5	5.0
M 38	3.0	23	0.10	1672	0.71	57.0	16.9	32.5
M 32	9.1	20	0.09	1097	2.52	113.6	13.2	33.1
M 35	2.9	11	0.07	814	0.69	96.9	17.6	34.1
M 36	12.2	20	0.08	1119	3.93	127.8	24.7	36.9
M 64	1.1	16	0.07	907	0.11	178.8	16.3	34.5

Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de SGS Colombia S.A.S.

El informe de ensayo sólo es válido para la muestra del prototipo o del lote sometido a análisis, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Este documento es emitido por la Compañía bajo las Condiciones Generales de Servicio, y pueden encontrarse en la página http://www.sgs.com/terms_and_conditions.htm Su aplicación se extiende al límite de la responsabilidad, indemnización y jurisdicción definidas en ella.

Se informa a cualquier persona que tenga en su poder este documento, que el contenido del mismo, refleja los hallazgos de la Compañía solo al momento de su intervención y dentro de los límites de las instrucciones del Cliente, si hubiera alguna. La Compañía es únicamente responsable ante su Cliente y este documento no exime a las partes de una transacción de ejercer todos sus derechos y obligaciones en virtud de los documentos de la transacción.

Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados al máximo del alcance de la ley.

No obstante lo estipulado en la Cláusula 8 de las Condiciones Generales de Servicio de SGS, todos los conflictos que se originen en, o que tengan relación con las Relaciones Contractuales reguladas por este contrato, se regirán y serán interpretadas de acuerdo con las leyes sustantivas de Colombia, excluyendo cualquier disposición legal con respecto a los conflictos de leyes y se resolverán finalmente de acuerdo al Reglamento del Centro de Arbitraje Nacional e Internacional de la Cámara de Comercio de Colombia, por uno o más árbitros designados de acuerdo con tales reglas. El arbitraje tendrá lugar en Bogotá (Colombia) y será en el idioma español.

Las quejas, apelaciones o consultas sobre la validez de este Certificado y/o Informe de Ensayo podrá ser enviado al correo: Co.LabGeoMed@sgs.com, co.servicioalcliente@sgs.com o comunicarse a los

INFORME DE ENSAYO
GQ1900570

Elemento	Nd	Ni	P	Pb	Pr	Rb	Sb	Sc
Esquema	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A
Unidad	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Límite de Detección	0.1	5	0.01	5	0.05	0.2	0.5	5.0
M 29	8.7	15	0.09	914	2.49	14.7	21.3	31.8
M 67	2.5	56	0.02	13	0.53	44.7	<0.5	34.0
M 37	3.5	106	0.05	277	0.87	327.2	1.1	34.9
M 01	3.8	34	0.04	75	0.97	85.9	<0.5	37.5
*DUP M 36	11.6	20	0.08	1081	3.60	133.2	22.1	35.8

Elemento	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Th	Ti	Tl
Esquema	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A
Unidad	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm
Límite de Detección	0.1	1	0.1	0.5	0.05	0.1	0.01	0.5
M 38	0.6	2	352.9	9.8	0.08	9.3	0.04	2.6
M 32	2.1	1	310.4	0.7	0.18	7.7	0.13	2.0
M 35	0.7	<1	227.9	<0.5	0.10	3.4	<0.01	1.6
M 36	2.8	1	339.4	<0.5	0.26	14.0	0.08	1.3
M 64	0.3	<1	71.8	<0.5	0.09	0.4	0.37	1.3
M 29	1.5	1	176.1	<0.5	0.15	9.3	0.13	<0.5
M 67	0.4	<1	60.9	<0.5	0.10	<0.1	0.04	<0.5
M 37	0.6	1	6.1	<0.5	0.12	3.9	0.15	2.7
M 01	0.9	<1	19.6	<0.5	0.31	1.3	0.14	0.6
*DUP M 36	2.6	1	320.1	<0.5	0.32	12.9	0.08	0.9

Elemento	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr
Esquema	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A
Unidad	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Límite de Detección	0.05	0.05	5	1	0.5	0.1	5	0.5
M 38	<0.05	19.32	44	307	0.7	0.3	275	92.9
M 32	0.07	9.21	99	483	1.9	0.4	564	91.2
M 35	<0.05	7.43	39	184	1.6	0.3	150	52.9
M 36	0.11	31.15	64	28	4.0	0.7	1253	82.6
M 64	0.06	4.06	51	97	1.8	0.4	120	48.8
M 29	0.11	12.44	71	63	2.6	0.6	59	127.3
M 67	0.06	1.52	185	6	2.9	0.4	22	27.7
M 37	0.10	7.30	117	15	2.4	0.7	59	131.2
M 01	0.20	4.50	97	<1	7.3	1.2	71	109.1
*DUP M 36	0.08	32.50	66	28	4.5	0.6	1224	89.5

Elemento	Weight PMI_CH
Esquema	g
Unidad	
Límite de Detección	
M 38	1700
M 32	2970
M 35	1440
M 36	1320
M 64	2700

Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de SGS Colombia S.A.S.

El informe de ensayo sólo es válido para la muestra del prototipo o del lote sometido a análisis, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Este documento es emitido por la Compañía bajo las Condiciones Generales de Servicio, y pueden encontrarse en la página http://www.sgs.com/terms_and_conditions.htm Su aplicación se extiende al límite de la responsabilidad, indemnización y jurisdicción definidas en ella.

Se informa a cualquier persona que tenga en su poder este documento, que el contenido del mismo, refleja los hallazgos de la Compañía solo al momento de su intervención y dentro de los límites de las instrucciones del Cliente, si hubiera alguna. La Compañía es únicamente responsable ante su Cliente y este documento no exime a las partes de una transacción de ejercer todos sus derechos y obligaciones en virtud de los documentos de la transacción.

Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados al máximo del alcance de la ley.

No obstante lo estipulado en la Cláusula 8 de las Condiciones Generales de Servicio de SGS, todos los conflictos que se originen en, o que tengan relación con las Relaciones Contractuales reguladas por este contrato, se regirán y serán interpretadas de acuerdo con las leyes sustantivas de Colombia, excluyendo cualquier disposición legal con respecto a los conflictos de leyes y se resolverán finalmente de acuerdo al Reglamento del Centro de Arbitraje Nacional e Internacional de la Cámara de Comercio de Colombia, por uno o más árbitros designados de acuerdo con tales reglas. El arbitraje tendrá lugar en Bogotá (Colombia) y será en el idioma español.

Las quejas, apelaciones o consultas sobre la validez de este Certificado y/o Informe de Ensayo podrá ser enviado al correo: Co.LabGeoMed@sgs.com, co.servicioalcliente@sgs.com o comunicarse a los

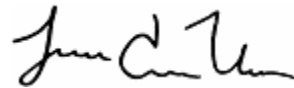
**INFORME DE ENSAYO
GQ1900570**

Elemento Esquema Unidad	Weight PMI_CH g
Limite de Detección	
M 29	2570
M 67	3060
M 37	2535
M 01	3125
*DUP M 36	--

ALMACENAJE DE CONTRAMUESTRAS:

Las contramuestras finas y gruesas serán almacenadas sin costo los primeros noventa (90) días después de la presentación del Informe de Ensayo. Después de los tiempos antes establecidos el costo de almacenaje será: US\$ 0.20/Contramuestra Fina y US\$ 0.50/Contramuestra Gruesa por treinta (30) días. Nota: Cada contramuestra gruesa será almacenada en bolsa de plástico y las mismas serán devueltas dentro de un saco de polipropileno. Cada contramuestra fina será almacenada en bolsa de papel y las mismas serán devueltas dentro de una caja de cartón.

Emitido en Medellín - Colombia , 12/08/2019



Juan Camilo Vélez Supervisor Líder de Laboratorio

Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de SGS Colombia S.A.S.

El informe de ensayo sólo es válido para la muestra del prototipo o del lote sometido a análisis, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

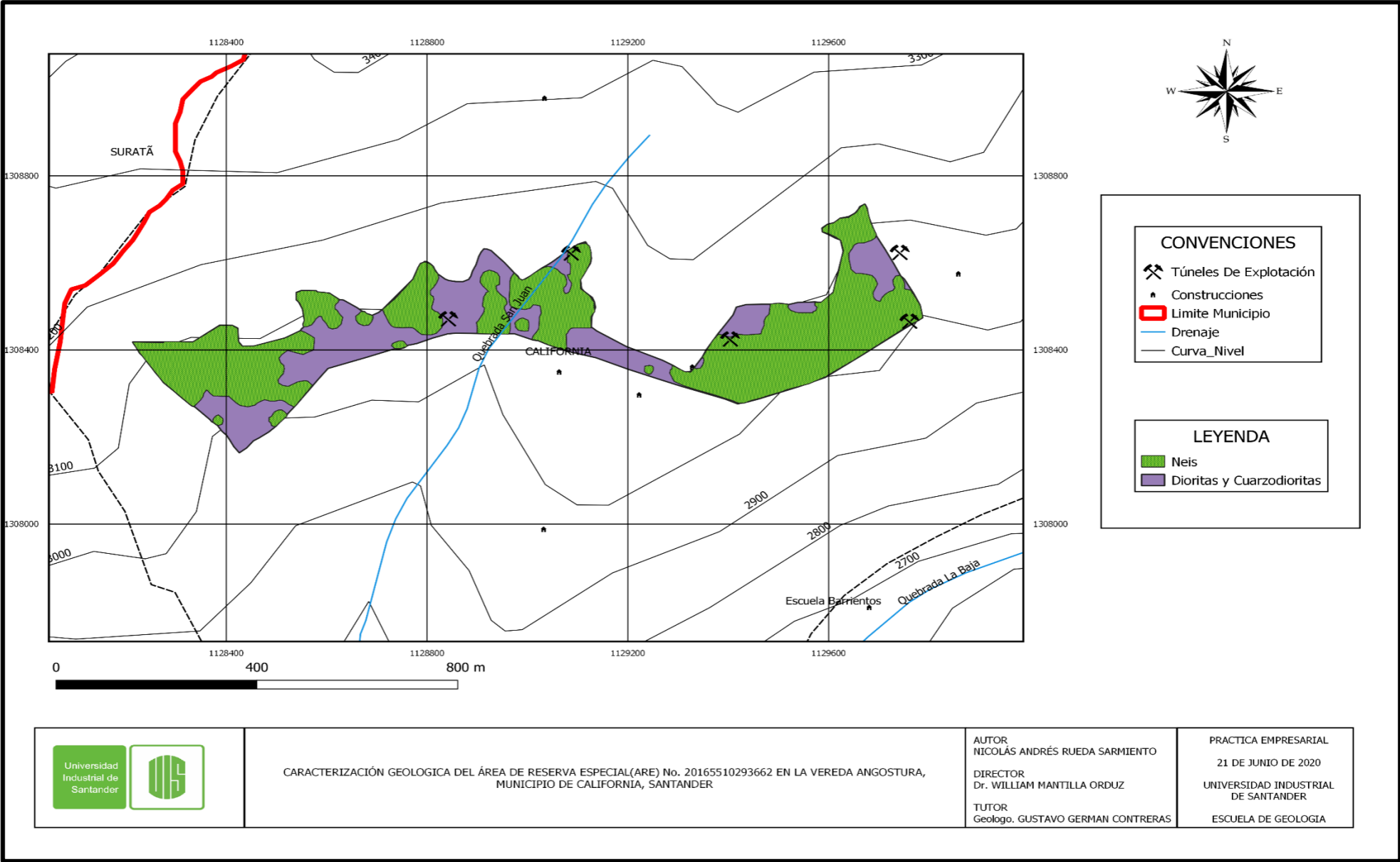
Este documento es emitido por la Compañía bajo las Condiciones Generales de Servicio, y pueden encontrarse en la pagina http://www.sgs.com/terms_and_conditions.htm Su aplicación se extiende al límite de la responsabilidad, indemnización y jurisdicción definidas en ella.

Se informa a cualquier persona que tenga en su poder este documento, que el contenido del mismo, refleja los hallazgos de la Compañía solo al momento de su intervención y dentro de los límites de las instrucciones del Cliente, si hubiera alguna. La Compañía es únicamente responsable ante su Cliente y este documento no exime a las partes de una transacción de ejercer todos sus derechos y obligaciones en virtud de los documentos de la transacción.

Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados al máximo del alcance de la ley. No obstante lo estipulado en la Cláusula 8 de las Condiciones Generales de Servicio de SGS, todos los conflictos que se originen en, o que tengan relación con las Relaciones Contractuales reguladas por este contrato, se registrarán y serán interpretadas de acuerdo con las leyes substantivas de Colombia, excluyendo cualquier disposición legal con respecto a los conflictos de leyes y se resolverán finalmente de acuerdo al Reglamento del Centro de Arbitraje Nacional e Internacional de la Cámara de Comercio de Colombia, por uno o más árbitros designados de acuerdo con tales reglas. El arbitraje tendrá lugar en Bogotá (Colombia) y será en el idioma español.

Las quejas, apelaciones o consultas sobre la validez de este Certificado y/o Informe de Ensayo podrá ser enviado al correo: Co.LabGeoMed@sgs.com, co.servicioalcliente@sgs.com o comunicarse a lo

Anexo 2. Mapa Geológico.



CARACTERIZACIÓN GEOLOGICA DEL ÁREA DE RESERVA ESPECIAL(ARE) No. 20165510293662 EN LA VEREDA ANGOSTURA, MUNICIPIO DE CALIFORNIA, SANTANDER

AUTOR
NICOLÁS ANDRÉS RUEDA SARMIENTO
DIRECTOR
Dr. WILLIAM MANTILLA ORDUZ
TUTOR
Geólogo. GUSTAVO GERMAN CONTRERAS

PRACTICA EMPRESARIAL
21 DE JUNIO DE 2020
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL
DE SANTANDER
ESCUELA DE GEOLOGÍA